



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – RC14 – 141501

**PERENCANAAN ULANG PERKERASAN JALAN KAKU
(RIGID PAVEMENT) JENIS CRCP DENGAN METODE
PRECAST PRESTRESS DI JALAN TOL SOLO - NGAWI**

MUHAMMAD SIDDIQ REZAWAN
NRP. 03111645000043

Dosen Pembimbing I
Dr. Catur Arif Prastyanto, ST, M.Eng
NIP. 197007081998021001

Dosen Pembimbing II
Ir. Faimun, M.Sc, Ph.D
NIP. 196306051989031004

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - RC141501

**PERENCANAAN ULANG PERKERASAN JALAN KAKU
(RIGID PAVEMENT) JENIS CRCP DENGAN METODE
PRECAST PRESTRESS DI JALAN TOL SOLO - NGAWI**

MUHAMMAD SIDDIQ REZAWAN
NRP. 03111645000043

Dosen Pembimbing I
Dr. Catur Arif Prastyanto, ST, M.Eng
NIP. 197007081998021001

Dosen Pembimbing II
Ir. Faimun, M.Sc, Ph.D
NIP. 196306051989031004

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



UNDERGRADUATE THESIS - RC141501

**REDESIGN RIGID PEVEMENT TYPE CRCP
WITH PRECAST PRESTRESS METHOD IN
SOLO - NGAWI TOLL ROAD**

MUHAMMAD SIDDIQ REZAWAN
NRP. 03111645000043

Academic Supervisor I
Dr. Catur Arif Prastyanto, ST, M.Eng
NIP. 197007081998021001

Academic Supervisor II
Ir. Faimun, M.Sc, Ph.D
NIP. 196306051989031004

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty Civil, Environmental, and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018

**PERENCANAAN ULANG PERKERASAN JALAN KAKU
(RIGID PAVEMENT) JENIS CRCP DENGAN METODE
PRECAST PRESTRESS DI JALAN TOL SOLO - NGAWI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Perhubungan
Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

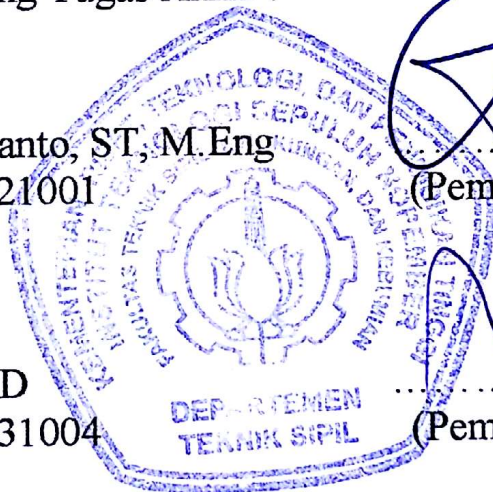
MUHAMMAD SIDDIQ REZAWAN

NRP. 03111645000043

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Catur Arif Prastyanto, ST, M.Eng
NIP. 197007081998021001 (Pembimbing I)

2. Ir. Faimun, M.Sc, Ph.D
NIP. 196306051989031004 (Pembimbing II)



SURABAYA, JULI 2018

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

PERENCANAAN ULANG PERKERASAN JALAN KAKU (RIGID PEVEMENT) JENIS CRCP DENGAN METODE PRECAST PRESTRESS DI JALAN TOL SOLO - NGAWI

Nama Mahasiswa : Muhammad Siddiq Rezawan
NRP : 03111645000043
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Konsultasi : 1. Dr.Catur Arif Prastyanto, ST, M.Eng
: 2. Ir. Faimun, M.Sc, Ph.D

Abstrak

Penggunaan perkerasan kaku merupakan pilihan yang cukup baik, untuk jalan tol yang dilewati oleh beban cukup berat dan kecepatan cukup tinggi. Sifatnya yang lebih kuat dan lebih tahan lama, dibandingkan dengan perkerasan lentur menyebabkan perkerasan kaku menjadi pilihan yang tepat. Akan tetapi telah diakui bahwa sumber kelemahan struktur perkerasan beton semen konvensional terletak pada sambungan Melintang (transverse joint) dan perkuatannya.. Bentuk kerusakan antara lain terjadinya retak, faulting, pumping dan spalling pada sambungan sehingga mempengaruhi kenyamanan berkendara.

Salah satu pendekatan untuk mengurangi masalah pada sambungan antara lain adalah penggunaan perkerasan beton tanpa sambungan melintang yaitu dengan perkerasan beton bertulang menerus (Continuously Reinforced Concrete Pavement, CRCP). Namun Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) juga memiliki kelemahan yaitu, rancangan yang mengakibatkan defleksi berlebihan akibat beban lalu lintas berat.

Hal ini dapat diatasi dengan pendekatan menggunakan beton prategang (Prestressed Concrete Pavement, PCP). Namun sistem Precast Prestress Concrete Pavement (PPCP) ini terdapat kelemahan pada sambungannya, yaitu dapat terjadi crack yang disebabkan tidak adanya tulangan pada daerah sambungan antar panel nya. Namun hal ini dapat diatasi bila digabungkan dengan perkerasan jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP).

Tugas Akhir ini membahas tentang Perencanaan Ulang Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pevement) Jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) Dengan Metode Precast Prestress Di Jalan Tol Solo – Ngawi. Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapat tebal pekerasan beton konvensional dengan tebal 305 mm dengan umur rencana (UR) 40 tahun sedangkan tebal perkerasan jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) sama didapatkan tebal 200 mm atau lebih tipis karena adanya baja prategang yang membuat beton lebih mampu menahan tarik akibat beban. Baja prategang (strand) yang digunakan diameter 12,7 mm dengan jumlah pada setiap tendon/duct 2(dua) unit strand. Panel direncanakan dengan ukuran 1,8 m x 12 m dan 3,6 m x 12 m.

Dalam hal metode pelaksanaan, pelaksanaan perkerasan kaku konvensional cenderung lebih lama dibandingkan dengan Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pevement) Jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) karena perkerasan kaku konvensional menunggu waktu 28 hari untuk digunakan sedangkan Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pevement) Jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) dapat digunakan 3 hari setelah proses grouting dan stressing.

Rencana anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pelaksanaan perkerasan konvensional adalah sebesar Rp. 1.550.548.215.920 sedangkan untuk perkerasan dengan metode prestress precast adalah sebesar Rp. 2.966.102.136.014 untuk panel ukuran 1,8 m x 12 m dan sebesar Rp. 2.634.027.811.365 untuk panel ukuran 3,6 m x 12 m.

Kata Kunci : Perencanaan Ulang Jalan, Beton Konvensional, Jenis CRCP (Continuous Reinforcement Concrete Pavement) Metode Precast Prestress

REDESIGN RIGID PEVEMENT TYPE CRCP WITH PRECAST PRESTRESS METHOD IN SOLO - NGAWI TOLL ROAD

Name Student : Muhammad Siddiq Rezawan
NRP : 03111645000043
Department : Civil Engineering FTSLK-ITS
Supervisor : 1. Catur Arif Prastyanto, ST, M.Eng
: 2. Ir. Faimun, M.Sc, Ph.D

Abstract

The use of rigid roughness is a pretty good choice, for a toll road that passed by quite a heavy load and the speed is high enough. Its nature is stronger and more durable than the pliable stiff roughness cause roughness becomes the right choice. But it has been recognized that the source of the weakness of the roughness of conventional concrete structure located on the connection Bar (the transverse joint) and perkuatannya ... Among other forms of damage occurrence of faulting, cracking, spalling and pumping on the connection so that it affects the ride comfort.

One approach to reduce the problem of the connection between the other is the use of perkeraan concrete without transverse connection i.e. with reinforced concrete roughness continuously (Continuously Reinforced Concrete Pavement CRCP,). But Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) also have weakness, namely, the draft which resulted in excessive deflection due to heavy traffic loads.

This can be overcome by using concrete approach pratelang (most reputable Prestressed Concrete Pavement, PCP). But the system of Precast Prestress Concrete Pavement (PPCP) there are weaknesses on the connection, that can happen to a crack caused by the absence of reinforcement on the connection between his panel. However this can be overcome when combined with Continuous Reinforced Concrete type roughness Pavement (CRCP).

This thesis discusses the Planning of road Roughness Anniversary Stiff (Rigid Pevement) type of Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) and the method of Precast Prestress In Solo Highway – the paths. The results of calculations performed in conventional concrete pekerjaan thickness obtainable with 305 mm thickness with age plan (UR) 40 years while the thick Reinforced Concrete Continuous type roughness Pavement (CRCP) just 200 mm thick is obtained or thinner because of the steel prategang that makes concrete more able to withstand the drag due to the load. Steel prategang (strand) 12.7 mm diameter are used with a number on each tendon/duct 2 (two) unit of the strand. The planned panel size 1.8 m x 12 m and 3.6 m x 12 m.

In terms of method execution, implementation of a conventional rigid roughness tend to be longer than with a Rigid Road Roughness (Rigid Pevement) type of Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) due to the roughness of the conventional rigid waiting time 28 days for use of road Roughness while Stiff (Rigid Pevement) type of Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) can be used 3 days after the grouting process and stressing.

Budget plan costs required for the implementation of conventional roughness is Rp. 1.550.548.215.920 while for the roughness of precast prestress method is Rp. 2.966.102.136.014 to the panel size 1.8 m x 12 m and Rp. 2.634.027.811.365 for panel size 3.6 m x 12 m

Keywords: Re-Design Roads, Concrete, Type CRCP (Continuous Reinforcement Concrete Pavement) Method Of Precast Prestress

KATA PENGANTAR

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik karena dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu atas terselesaikannya penulisan proposal tugas akhir ini, yaitu:

1. Keluarga penulis, kedua orang tua dan saudara – saudara yang telah memberi dukungan, motivasi, semangat, dan doa.
2. Bapak Catur Arif Prastyanto, ST, M.Eng dan bapak Ir. Faimun, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, dan ilmu yang sudah diberikan dalam proses bimbingan.
3. Segenap dosen Teknik Sipil FTSLK ITS yang telah memberikan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Ir. Luthfi Faisal selaku perancang desain CRCP menggunakan metode precast prestress
5. Bapak Thorry Hendarto selaku Pimpinan PT. Jasamarga Solo Ngawi
6. Teman-teman Teknik Sipil ITS yang telah memberi bantuan, dukungan, dan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Semua pihak yang telah membantu.

Dalam tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir yang penulis buat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Jadi dengan rasa hormat penulis mohon petunjuk, saran, dan kritik terhadap proposal tugas akhir ini, sehingga kedepannya diharapkan ada perbaikan terhadap makalah ini serta dapat menambah pengetahuan bagi penulis

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR	v
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	5
1.6 Lokasi Studi	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Umum	7
2.2. Analisa Pertumbuhan Lalu Lintas	7
2.3. Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Konvensional.....	7
2.3.1. Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2016	8
2.3.2. Metode AASHTO	38
2.4. Perencanaan Tebal Perkerasan Pelat Beton Pracetak – Prategang	54
2.4.1. Pembebanan Lalu Lintas	54
2.4.2. Pondasi Bawah Struktur Perkerasan Beton Pracetak Prategang	56
2.4.3. Perhitungan Tebal Pelat Beton Pracetak - Prategang	57

2.4.4.	Dimensi perkerasan beton pracetak - prategang	57
2.4.5.	Aplikasi Prategang	57
2.4.6.	Besaran Prategang	58
2.4.7.	Perhitungan Kait Pengangkat (Lifting Point) ..	66
2.4.8.	Perhitungan Baja Tulangan Pada Jenis CRCP.....	69
2.4.9.	Perencanaan Sambungan	70
2.5.	Rencana Anggaran Biaya	71
BAB 3 METODOLOGI		73
3.1	Pekerjaan Persiapan	76
3.2	Pengumpulan Data.....	76
3.3	Analisa Dan Pengolahan Data.....	76
3.4	Perencanaan Struktur Perkerasan Beton Prategang ..	77
3.5	Gambar Rencana	77
3.6	Perhitungan RAB	77
3.7	Kesimpulan Dan Saran.....	77
BAB 4 DATA DAN ANALISA PERHITUNGAN		79
4.1	Data Sekunder	79
4.1.1	Data Lalu Lintas.....	79
4.1.2	Data Tanah	84
4.2	Perencanaan Perkerasan Kaku Konvensional	85
4.2.1	Metode Manual Desain Perkerasan 2016.....	85
4.2.2	Metode AASHTO	110

4.2.3	Perbandingan Desain Ketebalan Perkerasan Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2016 dengan AASHTO	132
4.2.4	Metode Pelaksanaan.....	132
4.2.5	Kekurangan Perkerasan Kaku Konvensional.....	134
4.3	Perencanaan Perkerasan Kaku Jenis CRCP dengan Metode Precast Prestress.....	135
4.3.1	Pembebanan Lalu Lintas	136
4.3.2	Pondasi Bawah Struktur Perkerasan Beton Pracetak Prategang	137
4.3.3	Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan	140
4.3.4	Desain Pelat Beton Pracetak Prategang	140
4.3.5	Penentuan Gaya Prategang dan Jumlah Strand	143
4.3.6	Kontrol Tegangan Pada Tegangan Awal	144
4.3.7	Kehilangan Gaya Prategang.....	146
4.3.8	Kontrol Pelat Pratekan.....	152
4.3.9	Perhitungan Kebutuhan Tulangan	166
4.3.10	Perhitungan Tulangan Menerus	172
4.3.11	Perencanaan Sambungan	174
4.3.12	Metode Pelaksanaan.....	177
4.4	Rencana Anggaran Biaya	182
4.4.1.	Analisa Harga Satuan Pekerjaan.....	182
4.4.2.	RAB Perkerasan Kaku Konvensional	193

4.4.3.	RAB Perkerasan Kaku Jenis CRCP Dengan Metode Precast Prestress (1,8 m x 12 m).....	195
4.4.4.	RAB Perkerasan Kaku Jenis CRCP Dengan Metode Precast Prestress (3,6 m x 12 m).....	196
4.4.5.	RAB Perkerasan Kaku Jenis PPCP (Precast Prestress Concrete Pavement).....	197
4.5	Perbandingan Perkerasan Kaku Konvensional Dengan Perkerasan Kaku jenis CRCP dengan Metode Precast Prestress.....	198
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		201
5.1.	Kesimpulan	201
5.2.	Saran	204
DAFTAR PUSTAKA		205

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Studi	6
Gambar 2.1 Tipikal Sambungan Memanjang.....	31
Gambar 2.2 Ukuran standar penguncian sambungan memanjang.....	31
Gambar 2.3 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak.....	33
Gambar 2.4 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran seluruh lebar perkerasan	33
Gambar 2.5 Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi	34
Gambar 2.6 Sambungan isolasi	34
Gambar 2.7 tampak atas penempatan sambungan isolasi pada manhole.....	35
Gambar 2.8 Tampak atas penempatan sambungan isolasi pada lubang masuk saluran.....	35
Gambar 2.9 Potongan melintang perkerasan dan lokasi tumpuan.....	37
Gambar 2.10 Detail potongan melintang sambungan perkerasan	37
Gambar 2.11 Koreksi Effective Modulus of Subgrade Reaction	45
Gambar 2.12 Koreksi Effective Modulus of Subgrade Reaction	45
Gambar 2.13 Pembebanan Truk "T" (500kN).....	55
Gambar 2.14 Posisi Axle Load untuk mendapatkan lentur kritis.....	56
Gambar 2.15 Diagram Momen Saat Pengangkatan Pelat Pracetak Dengan Empat Titik Point Angkat	67
Gambar 4.1 Data Tanah CBR.....	84
Gambar 4.2 Tebal Perkerasan Kaku Konvensional	103
Gambar 4.3 Penulangan Pelat.....	106
Gambar 4.4 Tipikal Sambungan Susut Melintang dengan Ruji .	108

Gambar 4.5 Tipikal Sambungan Isolasi melintang Dengan Ruji	109
Gambar 4.6 Tipikal Sambungan Pelaksanaan dengan Tie Bars	109
Gambar 4.7 Sketsa Gambar Sambungan	110
Gambar 4.8 Koreksi Modulus Reaksi Tanah Dasar Efektif Atas Potensi Kehilangan Daya Dukung Lapis Sub-Pondasi (Subbase).....	127
Gambar 4.9 Tampak 2 lajur yang menggambarkan posisi sambungan arah memanjang yang berkaitan dengan jarak terdekat ke bagian tepi perkerasan.....	130
Gambar 4.10 Site Plan Metode Pelaksanaan.....	134
Gambar 4.11 Panel CRCCP dengan Sistem Pracetak Prategang.....	136
Gambar 4.12 Tampak Atas.....	136
Gambar 4.13 Tampak Samping.....	136
Gambar 4.14 Pembebanan Truk "T" (500kN).....	137
Gambar 4.15 Lapis Pondasi Bawah Struktur Perkerasan Pracetak Prategang.....	138
Gambar 4.16 Hubungan antara CBR dan Modulus Reaksi Tanah Dasar	139
Gambar 4.17 Detail Jalan Perkerasan Beton Precast Prestress	140
Gambar 4.18 Penampang Pelat dan Sistem Pemberian Prategang.....	142
Gambar 4.19 Diagram Tegangan Saat Transfer Tegangan	145
Gambar 4.20 Diagram Tegangan Saat Beban Layanan.....	146
Gambar 4.21 Diagram Tegangan Saat Transfer Tegangan dan Sebelum Kehilangan Prategang	153
Gambar 4.22 Diagram Tegangan Saat Transfer Tegangan dan Setelah Kehilangan Prategang	154
Gambar 4.23 Diagram Tegangan Saat Beban Layanan dan Setelah Kehilangan Prategang	155
Gambar 4.24 Detail Sambungan Lidah Alur.....	175

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Pertumbuhan Penduduk Jawa Tengah 2013 – 2017	80
Grafik 4.2 Pertumbuhan PDRB per Kapita Jawa tengah 2010–2016	81
Grafik 4.3 Data Tanah CBR	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perkiraan Nilai CBR Tanah Dasar	12
Tabel 2.2 Solusi Desain Pondasi Jalan Minimum	13
Tabel 2.3 Koefisien Drainase ‘m’ untuk Tebal Lapis Berbutir ...	16
Tabel 2.4 Angka Ekvivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan	18
Tabel 2.5 Konfigurasi Sumbu Beban Kendaraan Bina Marga	20
Tabel 2.6 Konfigurasi Sumbu Beban Kendaraan Kementerian Perhubungan	21
Tabel 2.7 (lanjutan) Konfigurasi Sumbu Beban Kendaraan Kementerian Perhubungan	22
Tabel 2.8 Tabel Koefisien Distribusi Kendaraan	24
Tabel 2.9 Faktor Distribusi Lajur (DL)	25
Tabel 2.10 Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Berat (HVAG)	27
Tabel 2.11 (lanjutan) Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Berat (HVAG).....	28
Tabel 2.12 Diameter Ruji	32
Tabel 2.13 Ukuran dan Jarak Dowel yang Disarankan	33
Tabel 2.14 Indeks Permukaan Pada Akhir Usia.....	41
Tabel 2.15 Faktor Distribusi Lajur (DL)	42
Tabel 2.16 Nilai Reabilitas.....	44
Tabel 2.17 Nilai Realibility ZR dan FR	44
Tabel 2.18 Nilai LS	46
Tabel 2.19 Definisi Kualitas Drainase.....	47
Tabel 2.20 Rekomendasi Nilai m1 untuk Flexible Pavement	48
Tabel 2.21 Rekomendasi Nilai Cd untuk Rigid pavement	48
Tabel 2.22 Koefisien Lapisan Perkerasan	49
Tabel 2.23 Tebal Lapisan Minimum Permukaan dan Lapisan	51
Tabel 2.24 Tabel Load Transfer	51
Tabel 2.25 Tabel Load Transfer	53
Tabel 2.26 Tabel Dowel	53

Tabel 2.27 Nilai Koefisien Wobble dan koefisien kelengkungan.....	61
Tabel 2.28 Nilai Koefisien Faktor Susut	64
Tabel 2.29 Nilai Kre dan J.....	65
Tabel 2.30 Nilai C	65
Tabel 4.1 Pertumbuhan Penduduk Jawa Tengah 2013 -2017.....	79
Tabel 4.2 Pertumbuhan PDRB Jawa tengah 2010 - 2016	80
Tabel 4.3 Pertumbuhan PDRB per Kapita Jawa Tengah 2010 - 2016	81
Tabel 4.4 Pertumbuhan PDRB per Kapita Jawa Timur 2010 - 2016	82
Tabel 4.5 Rekapitulasi Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata	83
Tabel 4.6 Tingkat Pertumbuhan Penduduk	85
Tabel 4.7 Tabel Pertumbuhan PDRB	85
Tabel 4.8 Tabel Pertumbuhan PDRB per Kapita.....	86
Tabel 4.9 Perhitungan Jumlah Sumbu berdasarkan Jumlah Jenis dan Bebannya	96
Tabel 4.10 Perhitungan Repetisi Sumbu Beban	98
Tabel 4.11 Faktor Distribusi Lajur (DL)	100
Tabel 4.12 Perhitungan Analisa Lalu Lintas	101
Tabel 4.13 Rekapitulasi Tulangan Konvesional.....	105
Tabel 4.14 Rekapitulasi Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata	111
Tabel 4.15 Axle Load Kendaraan Bus Kecil (1.2)	112
Tabel 4.16 Axle Load Kendaraan Bus Besar (1.2).....	113
Tabel 4.17 Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu Ringan (1.1)	114
Tabel 4.18 Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu Sedang (1.2L).....	115
Tabel 4.19 Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu Berat (1.2H)	116
Tabel 4.20 Axle Load Kendaraan Truck 3 Sumbu Sedang (1.2.2)	117

Tabel 4.21 Axle Load Kendaraan Truck 3 Sumbu Berat (1.2-2).....	118
Tabel 4.22 Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu (1.2-2.2)	119
Tabel 4.23 Axle Load Kendaraan Truck 4 Sumbu Trailer (1.2-22).....	120
Tabel 4.24 Axle Load Kendaraan Truck 5 Sumbu Trailer (1.22-22).....	121
Tabel 4.25 Axle Load Kendaraan Truck 5 Sumbu Trailer (1.2-222).....	122
Tabel 4.26 Axle Load Kendaraan Truck 6 Sumbu Trailer (1.22-222).....	123
Tabel 4.27 ESAL untuk D=10 dan IPT=3	124
Tabel 4.28 (lanjutan) ESAL untuk D=10 dan IPT=3.....	125
Tabel 4.29 Perancangan Tie Bar Diameter ½ Inch Ditinjau Dari Jarak Terdekat Dari Tepi Perkerasan	131
Tabel 4.30 jarak terdekat dengan tepi.....	132
Tabel 4.31 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Jumlah Strand dan Tendon.....	144
Tabel 4.32 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Prategang	152
Tabel 4.33 Rekapitulasi Kontrol Lendutan	156
Tabel 4.34 Rekapitulasi Kontrol Momen Nominal	157
Tabel 4.35 Rekapitulasi Kontrol Momen Retak.....	159
Tabel 4.36 Rekapitulasi Tulangan Angkat	163
Tabel 4.37 Rekapitulasi Jumlah Penumpukan.....	166
Tabel 4.38 Rekapitulasi Tulangan Konvensional.....	170
Tabel 4.39 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tulangan	172
Tabel 4.40 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tulangan Menerus	174
Tabel 4.41 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Sambungan Lidah .	174
Tabel 4.42 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Sambungan Tulangan Melintang	176
Tabel 4.43 Analisa HSPK Pembersihan Lapangan	182
Tabel 4.44 Analisa HSPK Galian Tanah Dasar.....	183

Tabel 4.45 Analisa HSPK Agregat Lapis Podasi Atas (LPA)	
Kelas A	183
Tabel 4.46 Analisa HSPK Lantai Kerja K-100	184
Tabel 4.47 Analisa HSPK Pekerjaan Pembesian Wire Mesh	184
Tabel 4.48 Analisa HSPK Pekerjaan Pembesian Dengan Besi	
Beton (Polos/Ulir)	185
Tabel 4.49 Analisa HSPK Pekerjaan Pemasangan Kabel	
Prestressed (Polos/Strand)	185
Tabel 4.50 Analisa HSPK Pekerjaan Bekisting Untuk	
Pelat Beton Pracetak (5 kali Penggunaan)	186
Tabel 4.51 Analisa HSPK Upah Pemasangan dan Buka Bekisting	
1 Buah Komponen Untuk Pelat Pracetak	186
Tabel 4.52 Analisa HSPK Campuran Beton K-500	187
Tabel 4.53 Upah Tuang / Tebar Beton 1 Buah Komponen Untuk	
Pelat Pracetak	188
Tabel 4.54 Analisa HSPK Ereksi 1 buah Komponen Pelat	
Pracetak (1,8 m x 12 m)	188
Tabel 4.55 Analisa HSPK Ereksi 1 buah Komponen Pelat	
Pracetak (3,6 m x 12 m)	189
Tabel 4.56 Analisa HSPK Langsir 1 Buah Komponen Pelat	
Pracetak	189
Tabel 4.57 Analisa HSPK Grouting Lubang	190
Tabel 4.58 Analisa HSPK Sambungan Mekanis	190
Tabel 4.59 Analisa HSPK Stressing	191
Tabel 4.60 Campuran Beton K-350	191
Tabel 4.61 Analisa HSPK Panel (1,8 m x 12 m)	192
Tabel 4.62 Analisa HSPK Panel (3,6 m x 12 m)	192
Tabel 4.63 Analisa HSPK Panel (1,5 m x 12 m)	192
Tabel 4.64 Analisa HSPK Panel (3 m x 12 m)	192
Tabel 4.65 RAB Perkerasan Kaku Konvensional MDP 2016 ..	193
Tabel 4.66 RAB Perkerasan Kaku Konvensional AASHTO	194
Tabel 4.67 RAB Panel (1,8 m x 12 m)	195
Tabel 4.68 RAB Panel (3,6 m x 12 m)	196

Tabel 4.69 RAB Metode PPCP	197
Tabel 4.70 Perbandingan Metode Konvensional dan Prestress Precast	198

DAFTAR BAGAN

Bagan 3.1 Metodologi	73
Bagan 3.2 Detail A	74
Bagan 3.3 Detail B	75
Bagan 4.1 Alur Pelaksanaan	178

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan perkerasan kaku merupakan pilihan yang cukup baik, untuk jalan tol yang dilewati oleh beban cukup berat dan kecepatan cukup tinggi. Sifatnya yang lebih kuat dan lebih tahan lama, dibandingkan dengan perkerasan lentur menyebabkan perkerasan kaku menjadi pilihan yang tepat. Perkerasan kaku sendiri terdiri dari beberapa jenis yaitu, Jointed Plain Concrete pavement (JPCP), Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP), Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP), dan Precast Prestress Concrete Pavement (PPCP). Akan tetapi perkerasan kaku yang menggunakan sistem cor di tempat, mempunyai beberapa kelemahan. Sumber kelemahan struktur perkerasan beton semen konvensional jenis perkerasan Beton-semen Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) atau Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) serta Beton semen Bersambung Dengan Tulangan (BBDT) atau Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP), terletak pada sambungan melintang (transverse joints), baik menggunakan dowel atau tanpa dowel. Jarak sambungan Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) dan Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP) masing-masing dirancang maksimum 5 m dan 15 m. Bentuk kerusakan antara lain terjadinya retak, faulting, pumping, dan spalling pada sambungan antar pelat beton sehingga perlu pemeliharaan terus menerus dan mempengaruhi kenyamanan berkendara. Jarak sambungan yang relatif terbatas tersebut, akan terasa efek bising pada saat kendaraan melaju karena ban kendaraan melewati sambungan. Hasil monitoring Jarak sambungan Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) pada kajian Puslitbang Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat di beberapa tempat dan Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP) di tol Tangerang-Merak menunjukkan masalah retak refleksi pada sambungan tersebut.

Masalah retak refleksi pada sambungan tersebut dapat diatasi dengan perkerasan Beton-semen Menerus Dengan Tulangan (BMDT), atau Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP). Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) adalah perkerasan beton dengan perkuatan tulangan tanpa menggunakan sambungan melintang. Diperkuat pada arah longitudinal dengan tambahan sambungan melintang yang digunakan untuk mendukung tulangan longitudinal. Sambungan ini ditujukan untuk menjaga kelangsungan dan memastikan penguatan beton secara terus menerus. Rancangan Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) terfokus pada pengendalian retak agar dapat mengurangi kerusakan struktural akibat beban lalu lintas dan lingkungan. Kerusakan tersebut termasuk punchouts, putusnya baja tulangan, dan retak yang mengakibatkan spalling. Perkuatan baja tulangan pada CRCP adalah unik karena perkerasan ini dirancang tidak memiliki sambungan kontraksi melintang, atau sambungan muai. Pada perkerasan Beton-semen Menerus Dengan Tulangan (BMDT), atau Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) yang telah dilapis perkerasan beraspal panas menunjukkan permukaan yang masih baik dan tidak menunjukkan masalah retak refleksi setelah perkerasan berumur empat tahun. Keutamaan pada perkerasan kaku jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) dapat mengatasi permasalahan yang ada pada perkerasan kaku jenis Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP) dan jenis Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP). Namun Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) juga memiliki kelemahan yaitu, rancangan yang mengakibatkan defleksi berlebihan akibat beban lalu lintas berat.

American Association State of Highway and Transportation Officials, AASHTO, 1993 menyatakan bahwa kapasitas beban pada perkerasan beton semen akan meningkat bila dikondisikan prategang. Bila panel perkerasan beton semen diberikan prategang maka tebal slab menjadi lebih tipis dan dapat diproduksi lebih panjang sehingga mengurangi jumlah sambungan.

Dengan beton prategang akan merubah perilaku struktur perkerasan beton semen, memperbaiki kemampuan deformasi dan momen sebagai salah satu penyebab retak. Jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP). Namun sistem Precast Prestress Concrete Pavement (PPCP) ini terdapat kelemahan pada sambungannya, yaitu dapat terjadi crack yang disebabkan tidak adanya tulangan pada daerah sambungan antar panel nya. Namun hal ini dapat diatasi bila digabungkan dengan perkerasan jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP).

Berdasarkan paparan diatas maka dalam Tugas Akhir ini akan membahas tentang Perencanaan Ulang Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pevement) Jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) Dengan Metode Precast Prestress Di Jalan Tol Solo – Ngawi. Perkerasan Jalan Kaku Jenis CRCP Dengan Metode Precast Prestress ini menggunakan tulangan memanjang menerus, salah satu pendekatan untuk mengurangi masalah sambungan yang terjadi pada sistem Precast Prestress Concrete Pavement (PPCP) pada sambungan. Untuk mencegah dari bentuk kerusakan antara lain terjadinya retak, faulting, pumping, dan spalling pada sambungan antar pelat beton. Namun yang membedakan Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pevement) Jenis Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP) Dengan Metode Precast Prestress ini dengan sistem Precast Prestress Concrete Pavement (PPCP) adalah terdapat tulangan menerus pada pelatnya serta terdapat connecting yang berfungsi untuk menyatukan tulangan menerus yang terdapat pada panel berikutnya dan prestress yang digunakan memanjang pada satu panel sedangkan pada sistem Precast Prestress Concrete Pavement (PPCP) yang dipasang hanya setengah panel.

1.2 Perumusan Masalah

Berpedoman pada latar belakang yang sudah dijelaskan, jika dilihat dari segi teknis yaitu dengan melakukan perencanaan perkerasan jalan, pada Tugas akhir ini akan dibahas beberapa aspek permasalahan, antara lain:

1. Berapa tebal perkerasan jalan kaku konvensional dengan menggunakan manual desain perkerasan jalan 2016, AASHTO dan perkerasan jalan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress
2. Bagaimana desain perkerasan jalan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress
3. Bagaimana metode pelaksanaan perkerasan jalan kaku konvensional dan perkerasan jalan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress
4. Berapa total biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan jalan Tol Solo-Ngawi per km nya pada perkerasan jalan kaku konvensional dengan menggunakan manual desain perkerasan jalan 2016, AASHTO dan perkerasan jalan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress sampai umur rencana?

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya perencanaan yang akan timbul dalam penyusunan Tugas Akhir ini serta keterbatasan data maupun ilmu yang di kuasai, maka batasan masalah dalam Tugas Akhir ini meliputi:

1. Perencanaan perhitungan Rencana Anggaran Biaya Berdasarkan Harga Satuan Pakok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2018, dikarenakan tidak ada data HSPK dari Kontraktor yang bersangkutan
2. Tidak merencanakan perbaikan dan perkuatan pada tanah dasar dan tidak merencanakan saluran drainase jalan.
3. Perencanaan tebal perkerasan kaku sesuai dengan Peraturan Manual Desain Perkerasan 2013 (Update 2016)
4. Perencanaan Sub drain hanya materialnya saja

5. Tidak menghitung dan merencanakan bangunan pelengkap (jembatan, dinding penahan tanah dan gorong-gorong serta persimpangan jalan)
6. Tidak menghitung biaya perawatan

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, maka tujuan pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menghitung tebal perkerasan jalan kaku konvensional dengan menggunakan manual desain perkerasan jalan 2016 , AASHTO dan perkerasan jalan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress
2. Mendesain perkerasan jalan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress
3. Merencanakan metode pelaksanaan perkerasan jalan kaku konvensional dan perkerasan jalan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress
4. Menghitung rencana anggaran biaya perkerasan jalan kaku konvensional dengan menggunakan manual desain perkerasan jalan 2016 , AASHTO dan perkerasan jalan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress per km yang diperlukan

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Adapun pembuatan Tugas Akhir ini diharapkan membawa manfaat sebagai berikut :

- a) Dapat mengetahui dan melakukan analisa bagaimana design perencanaan jalan khususnya perencanaan jalan dengan perkerasan beton jenis CRCP yang menggunakan metode precast prestress
- b) Mampu menghitung rencana anggaran per km untuk pembangunan konstruksi dari perencanaan jalan tersebut

1.6 Lokasi Studi

Lokasi ruas jalan tol yang direncanakan terletak di Provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah. Tepatnya melintasi Kota Surakarta, Kota Sragen dan Kota Ngawi. Dapat dilihat pada gambar 1.1



Gambar 1.1 Peta Lokasi Studi

Sumber : (Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2018)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Untuk merencanakan sebuah jalan dibutuhkan teori teori yang menunjang untuk memperoleh sebuah desain yang ideal dan nyaman untuk para pengguna jalan. Untuk itu teori yang digunakan untuk perencanaan meliputi teori pembebanan lalu lintas (trip assignment), perencanaan tebal perkerasan beton, serta peraturan rencana anggaran biaya. Berikut merupakan teori penunjang proposal akhir ini.

2.2. Analisa Pertumbuhan Lalu Lintas

Dari data lalu lintas hasil dari jalan Solo- Ngawi, diolah menjadi data lalu lintas harian dan diperkirakan menjadi beban bagi jalan tol yang direncanakan

Berikutnya diperlukan tingkat pertumbuhan lalu lintas yang akan digunakan untuk peramalan jumlah lalu lintas pada akhir masa umur rencana. Tingkat pertumbuhan lalu lintas ini diasumsikan sama dengan tingkat pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi di wilayah Jawa Timur.

- a) Pertumbuhan jumlah penduduk menggambarkan pertumbuhan lalu lintas angkutan umum
- b) Pertumbuhan produk domestik regional bruto daerah menggambarkan laju pertumbuhan kendaraan niaga
- c) Pertumbuhan produk domestik regional bruto per kapita menunjukan laju pertumbuhan kendaraan pribadi.

2.3. Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Konvensional

Perkerasan jalan beton konvensional adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan yang terletak diatas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan berasapal. Pada perkerasan jalan beton konvensional daya dukung terutama diperoleh dari pelat beton yang mempunyai sifat daya dukung dan keseragaman tanah dasar

yang akan mempengaruhi kekuatan dan keawetan perkerasan jalan beton itu sendiri. Dengan penggunaan perkerasan beton diharapkan memiliki kerusakan yang sedikit bila terjadi beban yang lebih besar dari yang direncanakan sehingga pada umur rencana mengalami kerusakan yang sedikit dari pada perkerasan jalan aspal. Dalam hal ini Perkerasan Jalan Beton Konvensional di bagi menjadi 3 jenis :

1. Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan
2. Perkerasan beton bersambung dengan tulangan
3. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan

2.3.1. Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2016

2.3.1.1. Desain pondasi jalan

Desain pondasi jalan adalah desain perbaikan tanah dasar dan lapis penopang (*capping*), tiang pancang mikro, drainase vertikal dengan bahan strip (*wick drain*) atau penanganan lainnya yang dibutuhkan untuk memberikan landasan pendukung struktur perkerasan lentur dan perkerasan kaku dan sebagai akses untuk lalu lintas konstruksi pada kondisi musim hujan. Tiga faktor yang paling berpengaruh pada desain perkerasan adalah analisis lalu lintas, evaluasi tanah dasar dan perkiraan dampak kadar air.

2.3.1.2. Umur Rencana Pondasi Jalan

Umur rencana pondasi jalan untuk semua perkerasan baru maupun pelebaran digunakan minimum 40 tahun karena :

- a) Pondasi jalan tidak dapat ditingkatkan selama umur pelayanannya kecuali dengan rekonstruksi total;
- b) Keretakan dini akan terjadi pada perkerasan kaku pada tanah lunak yang pondasinya didesain lemah (*under design*);
- c) Perkerasan lentur dengan desain pondasi lemah (*under design*), umumnya selama umur rencana akan membutuhkan perkuatan dengan lapisan aspal struktural, yang berarti biayanya menjadi kurang efektif bila dibandingkan dengan pondasi jalan yang didesain dengan umur rencana lebih panjang.

2.3.1.3. Outline Prosedur Desain Pondasi Jalan

Empat kondisi lapangan yang mungkin terjadi dan harus dipertimbangkan dalam prosedur desain pondasi jalan adalah :

- a) Kondisi tanah dasar normal, dengan ciri – ciri nilai CBR lebih dari 3% dan dapat dipadatkan secara mekanis. desain ini meliputi perkerasan diatas timbunan, galian atau tanah asli (kondisi normal inilah yang sering diasumsikan oleh desainer).
- b) Kondisi tanah dasar langsung diatas timbunan rendah (kurang dari 3 m). Di atas tanah lunak aluvial jenuh. Prosedur laboratorium untuk penentuan CBR tidak dapat digunakan untuk kasus ini, karena optimasi kadar air dan pemadatan secara mekanis tidak mungkin dilakukan di lapangan. Lebih lanjutnya, tanah asli akan menunjukkan kepadatan rendah dan daya dukung yang rendah sampai kedalaman yang signifikan yang membutuhkan prosedur stabilisasi khusus.
- c) Kasus yang sama dengan kondisi B namun tanah lunak aluvial dalam kondisi kering. Prosedur laboratorium untuk penentuan CBR memiliki validitas yang terbatas karena tanah dengan kepadatan rendah dapat muncul pada kedalaman pada batas yang tidak dapat dipadatkan dengan peralatan konvensional. Kondisi ini membutuhkan prosedur stabilisasi khusus.
- d) Tanah dasar diatas timbunan diatas tanah gambut.

2.3.1.4. Metode Berdasarkan Jenis Tanah

A. Metode A untuk tanah normal

- Kondisi A1 : Apabila tanah dasar bersifat plastis atau berupa lanau, tentukan nilai batas-batas Atterberg (PI), gradasi, nilai potensi pengembangan (*potential swell*), letak muka air tanah, zona iklim, galian atau timbunan dan tetapkan nilai CBR dari Tabel 2.1 atau dari uji laboratorium perendaman 4 hari.
- Kondisi A2 : Apabila tanah dasar bersifat berbutir atau tanah residual tropis (tanah merah, laterit), nilai desain daya dukung tanah dasar harus dalam kondisi 4 hari rendaman,

pada nilai 95% kepadatan kering modifikasi. Untuk kedua kondisi, pilih tebal perbaikan tanah dasar dari Tabel 2.2.

B. Metode B untuk tanah aluvial jenuh

Lakukan survey DCP dan karakterisasi tanah untuk mengidentifikasi sifat dan kedalaman tanah lunak dan daerah yang membutuhkan perbaikan tambahan (sebagai contoh daerah yang membutuhkan lapis penopang, konstruksi perkerasan khusus, pondasi cakar ayam atau pancang mikro). Jika tanah lunak terdapat dalam kedalaman kurang dari 1 m, maka opsi pengangkatan semua tanah lunak perlu ditinjau keefektifitas biayanya. Jika tidak, tetapkan tebal lapisan penopang (*capping layer*) dan perbaikan tanah dasar dari Tabel 2.2. Tetapkan waktu perkiraan awal pra-pembebanan dari Tabel 10.2. Sesuaikan waktu perkiraan awal tersebut (umumnya *primary settlement time*) jika dibutuhkan untuk memenuhi ketentuan jadwal pelaksanaan melalui analisis geoteknik dan pengukuran seperti beban tambahan (*surchage*) atau vertikal drain.

Jika waktu pra-pembebanan berlebihan atau terdapat batas ketinggian timbunan (misal pada kasus pelebaran jalan eksisting atau untuk jalan dibawah jembatan, maka bisa digunakan metode stabilisasi lainnya misal cakar ayam, pemacangan atau pencampuran tanah dalam.

Jika tidak ada contoh atau pengalaman yang mendukung kecukupan desain lapis penopang atau desain lainnya untuk kondisi sejenis, maka perlu dilakukan uji timbunan percobaan dan pengujian pembebanan untuk verifikasi.

C. Metode C untuk tanah aluvial kering

Tanah alluvial kering pada umumnya memiliki kekuatan sangat rendah (misal $\text{CBR} < 2\%$) di bawah lapis permukaan kering yang relatif keras. Kedalaman lapisan permukaan tersebut berkisar antara 400 – 600 mm. Identifikasi termudah untuk kondisi ini adalah menggunakan uji DCP. Kondisi ini umumnya terdapat pada dataran banjir kering dan area sawah kering. Masalah terbesar dari kondisi tanah seperti ini adalah daya dukung yang memuaskan

dapat hilang akibat pengaruh dari lalu lintas konstruksi dan musim hujan. Karenanya penanganan pondasi harus sama dengan penanganan kasus tanah aluvial jenuh, kecuali jika perbaikan lanjutan dilakukan setelah pelaksanaan pondasi jalan selesai pada musim kering, jika tidak perbaikan metode B harus dilakukan. Metode perbaikan lanjutan tersebut adalah:

- a) Jika lapis atas dapat dipadatkan menggunakan pemadat *pad foot roller*, maka tebal lapis penopang dari Tabel 2.2 dapat dikurangi sebesar 200 mm.
- b) Digunakan metode pemadatan dalam yang terbaru misal *High Energy Impact Compaction (HEIC)* atau pencampuran tanah dalam yang dapat mengurangi kebutuhan lapis penopang.

Tabel 2.1 Perkiraan Nilai CBR Tanah Dasar

Posisi	LHRT < 2000			LHRT \geq 2000		
	Semua galian kecuali terindikasi lain seperti kasus 3 dan timbunan tanpa drainase sempurna dan FSL < 1000 mm di atas muka tanah asli		Galian di zona iklim 1 dan semua timbunan dengan drainase sempurna ($m \geq 1$) dan FSL > 1000mm di atas muka tanah asli	Semua galian kecuali terindikasi lain seperti kasus 3 dan timbunan tanpa drainase sempurna dan FSL > 1000 mm diatas muka tanah asli		Galian di zona iklim 1 dan semua timbunan dengan drainase sempurna ($m \geq 1$) dan FSL > 1000 mm di atas muka tanah asli
	1	2	3	4	5	6
Posisi Muka Air Desain (Tabel 9-1)	Di bawah standard desain minimum (tidak direkomendasi)	Standar Desain Minimum	≥ 1200 mm di bawah tanah dasar	Di bawah standard desain minimum	Standar Desain Minimum	≥ 1200 mm di bawah tanah dasar
Jenis Tanah	IP	Perkiraan CBR (%)				
Lempung Subur	50-70	2	2	2	2	2
Lempung Kelanauan	40	2,5	2,7	3	2,5	2,6
	30	3	3,3	4	3,5	3,6
Lempung Kepasiran	20	4	4,3	5	4,5	4,8
	10	4	4,3	5	4,5	5
Lanau		1	1,3	2	1	1,3

FSL = Finished Surface Level (elevasi Permukaan Akhir)

Sumber : (Bina Marga, 2016)

Tabel 2.2 Solusi Desain Pondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur Desain Pondasi	Deskripsi Struktur Pondasi Jalan	Lalu lintas lajur desain umur rencana 40 tahun (juta CESA _s)		
				< 2	2 - 4	> 4
				Tebal minimum peningkatan tanah dasar		
≥ 6	SG6	A	Perbaikan tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤200 mm tebal lepas)	Tidak perlu peningkatan		
5	SG5					100
4	SG4			100	150	200
3	SG3			150	200	300
2,5	SG2,5			175	250	350
Tanah ekspansif (potential swell > 5 %)		AE		400	500	600
Perkerasan lentur diatas tanah lunak ^s	SG1 aluvial ⁱ	B	Lapis Penopang (capping layer)(2)(4)	1000	1100	1200
			Atau lapis penopang dan geogrid (2)(4)	650	750	850
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan Burda untuk Jalanan kecil (nilai minimum - peraturan lain digunakan)		D	Lapis penopang berbutir (2)(4)	1000	1250	1500

- 1) Nilai CBR lapangan CBR rendaman tidak relevan
- 2) Bagian atas lapis penompang harus diasumsikan memiliki nilai CBR ekivalen tak terbatas 2,5%
- 3) Ketentuan tambahan mungkin berlaku, desain harus mempertimbangkan semua isu kritis.
- 4) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asli dipadatkan (tanah lunak kering pada saat konstruksi.
- 5) Ditandai oleh kepadatan yang rendah dan CBR lapangan yang rendah di bawah daerah yang dipadatkan

Sumber : (Bina Marga, 2016)

2.3.1.5. Drainase Bawah Permukaan (sub surface pavement drainage)

Drainase bawah permukaan (sub surface pavement drainage) harus disediakan untuk memenuhi ketentuan-ketentuan berikut:

1. Seluruh lapis pondasi bawah (sub base) harus dapat mengalirkan air.
2. Desain pelebaran perkerasan harus menjamin tersedianya drainase yang memadai dari lapisan berbutir terbawah pada perkerasan eksisting.
3. Lapis terbawah perkerasan harus dapat mengalirkan air atau tebal lapis perkerasan berbutir efektif harus dikalikan dengan faktor m . Jalur drainase dengan batas timbunan paling tidak 500 mm dari lapisan berbutir ke tepi timbunan (titik free drainage) harus dianggap dapat mengalirkan air. Drainase melintang pada titik rendah atau pada pusat 10 m harus dianggap memberikan free drainage pada subbase (Tabel 2.3 memberikan semua opsi tersebut).
4. Apabila ketinggian sub-base lebih rendah dari pada ketinggian permukaan tanah sekitarnya, baik di daerah timbunan ataupun di permukaan tanah asli, maka harus dipasang drainase bawah permukaan (bila memungkinkan keadaan ini dapat dihindari dengan desain geometris yang baik), bila drainase bawah permukaan tidak tersedia atau jika muka air tanah lebih tinggi dari 600 mm dibawah tanah dasar maka harus digunakan penyesuaian dengan faktor " m " untuk tebal lapis berbutir sesuai (American Association Of State Highway And Transportation Officials, 1993) Pasal 2.4.1 (Tabel 2.3).
5. Drainase bawah permukaan harus disediakan didekat saluran U dan struktur lain yang menutup aliran air dari setiap lapisan sub base. Lubang sulingan (weep holes) harus ditempatkan secara benar selama konstruksi namun tidak dapat dijadikan satu – satunya metode yang dilakukan. Secara umum drainase bawah permukaan harus diupayakan untuk disediakan.

6. Drainase bawah permukaan harus ditempatkan pada kemiringan yang seragam tidak kurang dari 0,5% sehingga air akan mengalir dengan bebas sepanjang drainase sampai ke titik keluar (outlet point). Selain itu harus juga tersedia titik akses untuk membersihkan drainase atau titik pembuangan (discharge point) pada jarak tidak lebih dari 60 m.
7. Elevasi titik masuk dan pembuangan drainase bawah permukaan harus lebih tinggi dari muka banjir rencana sesuai standar desain drainase.

Untuk jalan 2 jalur terpisah (divided road) dengan superelevasi, apabila drainase diarahkan ke median, maka harus diberi sistem drainase bawah permukaan di median desainer perkerasan harus mengkomunikasikan kriteria drainase yang disyaratkan kepada desainer drainase dan harus memastikan bahwa drainase yang dibutuhkan tergambarkan dengan jelas dalam Gambar Rencana.

Apabila drainase bawah permukaan tidak dapat diberikan yang umumnya terjadi pada daerah perkotaan, harus digunakan koefisien drainase “m” pada desain ketebalan lapis pondasi berbutir sesuai dengan aturan (American Association Of State Highway And Transportation Officials, 1993) Pasal 2.4.1 dan Tabel 2.3. Tebal lapis pondasi berbutir dari Bagan Desain 3 harus disesuaikan dengan membagi tebal desain lapis berbutir dengan faktor m. Nilai yang didapat menjadi tebal desain lapis pondasi berbutir.

Desainer dalam melakukan desain sedemikian rupa sehingga didapat nilai $m \geq 1,0$, dan menghindari desain dengan $m < 1,0$ (kecuali kondisi lapangan tidak memungkinkan). Bagan Desain dalam manual ini mengasumsikan drainase dalam kondisi baik. Jika kondisi drainase m dibawah 1, maka tebal lapis berbutir harus dinaikkan dengan rumus:

$$\text{Tebal Lapis Berbutir desain} = \left(\frac{\text{Tebal Hasil dari Bagan Desain}}{m} \right) \quad (2.1)$$

Dimana:

m = Koefisien drainase (Tabel)

Koefisien drainase “m” lebih besar dari 1 tidak boleh digunakan kecuali ada keyakinan bahwa kualitas pelaksanaan yang diisyaratkan dapat terpenuhi.

Tabel 2.3 Koefisien Drainase ‘m’ untuk Tebal Lapis Berbutir

Kondisi lapangan (digunakan untuk pemilihan nilai m yang sesuai)	Nilai ‘m’ untuk desain	Detail Tipikal
1. galian dengan drainase sub soil terdrainase sempurna (keluaran drainase sub soil selalu diatas muka banjir)	1,2	
2. Timbunan dengan lapis pondasi bawah menerus samoa bahu (day-lighting)(tidak terkena banjir)	1,2	
3. Di atas permukaan tanah dengan drainase sub soil, medan datar terkadang sub soil dibawah	1	
4. Timbunan dengan tepi permeabilitas rendah dan lapis pondasi bawah boxed. Tepi jalur tei jalur drainase lebih dari 500 m. Solusi alternatif dengan drainase melintang dari sub base pada jarak < 10 m atau pada titik terendah	0,9	
5. Galian pada permukaan tanah atau timbunan tanpa drainase subsoil dan tepi dengan permeabilitas rendah > 500mm	0,7	
6. Tanah dasar jenuh secara permanen selama musim hujan dan tidak teralirkan, tanpa titik keluar untuk sistem sub soil. Aturan lapis penutup capping juga berlaku	0,4	

Sumber : (Bina Marga, 2016)

2.3.1.6. Lalu Lintas

Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan atas hasil perhitungan volume lalu lintas dan atas hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi beban berdasarkan data terakhir (2018)

A. Lajur Rencana Dan Koefisien Distribusi

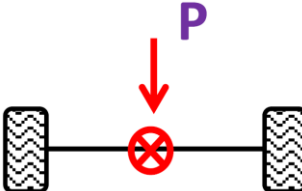
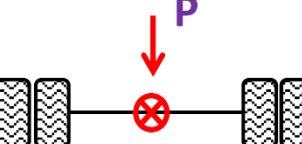
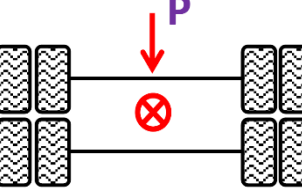
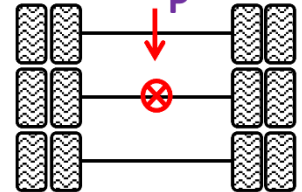
Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton. Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 5 jenis kelompok sumbu sebagai berikut :

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
- Sumbu tandem roda tunggal (STdRT).
- Sumbu tandem roda ganda (STdRG).
- Sumbu tridem roda ganda (STrRG).

B. Angka Ekuivalen

Angka ekuivalen (E) dari suatu sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban standart sumbu tunggal seberat 8,16 ton (1800 lbs) Karena beban sumbu kendaraan memiliki nilai yang beraneka ragam beban maka beban sumbu tunggal seberat 8,16 ton , sehingga dapat dihasilkan besaran ekuivalen yang sesuai dengan peraturan yang ada. Beban sumbu dapat dihitung dengan menggunakan cara distribusi beban sumbu dari berbagai jenis kendaraan yang ditunjukkan pada Tabel

Tabel 2.4 Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Jumlah Sumbu	Konfigurasi Sumbu	Rumus
Single Axle Single Wheel		$\left(\frac{P}{5,4}\right)^4$
Single Axle Dual Wheel		$\left(\frac{P}{8,2}\right)^4$
Tandem Axle Dual Wheel		$\left(\frac{P}{13,6}\right)^4$
Triple Axle Dual Wheel		$\left(\frac{P}{18,1}\right)^4$

Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016)

Untuk menghitung vehicle damage factor (VDF) pada kendaraan berat menurut (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016)) menjadi beban sumbu kendaraan sumbu kendaraan adalah sebagai berikut:

$$VDF = \left(\frac{P}{\text{Beban Sumbu Standar}} \right)^5 \quad (2.2)$$









Dimana :

P = Beban sumbu kendaraan

VDF = Faktor daya rusak kendaraan

Konfigurasi sumbu tunggal mempunyai pengaruh yang sangat besar pada kerusakan jalan dibandingkan dengan sumbu ganda. Pada desain perkerasan kaku ini didasarkan pada distribusi kelompok kendaraan niaga (vehicle axle group, HVAG) dan bukan pada nilai CESA. Karakteristik proporsi sumbu dan proporsi beban untuk setiap kelompok sumbu berdasarkan standar Bina Marga dapat dilihat pada Tabel

Tabel 2.5 Konfigurasi Sumbu Beban Kendaraan Bina Marga

Konfigurasi Sumbu dan Type	Berat Kosong (Ton)	Berat Muatan Maksimum (Ton)	Berat Total Maksimum (Ton)	UE 19 KSAL Kosong	UE 18 KSAL Maksimum	
1 . 1 MP	1,5	0,5	2	0,0001	0,0004	
1 . 2 Bus	3	6	9	0,0037	0,3006	
1 . 2L Truck	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1 . 2H Truck	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1 . 22 Truck	5	20	25	0,0044	2,7416	
1 . 2 + 2 . 2 Trailer	6,4	25	31,4	0,0085	4,9283	
1 . 2 - 2 Trailer	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1 . 2 - 2 - 2 Trailer	10	32	42	0,0327	10,183	

Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1989)

Tabel 2.6 Konfigurasi Sumbu Beban Kendaraan Kementerian Perhubungan

No	Konfigurasi Sumbu	Kelas Jalan	MST MAKSIMAL						JBI	
			Sb I	Sb II	Sb III	Sb IV	Sb V	Sb VI	MAX	KETERANGAN
1	1,1	II	6 T	6 T	-	-	-	-	12 T	MST < MST MAKSIMAL - KEKUATAN RANCANG SUMBU
		III	5 T	5 T	-	-	-	-	10 T	
2	1,2	II	6 T	10 T	-	-	-	-	16 T	MST < MST MAKSIMAL - KEKUATAN RANCANG SUMBU
		III	6 T	8 T	-	-	-	-	14 T	
3	11,2	II	5 T	6 T	10 T	-	-	-	21 T	MST < MST MAKSIMAL - KEKUATAN RANCANG SUMBU
		III	5 T	6 T	8 T	-	-	-	19 T	
4	1,22	II	6 T	9 T	9 T	-	-	-	24 T	MST < MST MAKSIMAL - KEKUATAN RANCANG SUMBU
		III	6 T	7,5	7,5 T	-	-	-	21 T	
5	1,1,22	II	6 T	6 T	9 T	9 T	-	-	30 T	Suspensi Biasa
			6 T	7 T	10 T	10 T	-	-	33 T	Sb 2,3,4 : Air Bag Suspension
			6 T	7 T	9 T	9 T	-	-	31 T	Sb 2 : Air Bag Suspension
		III	6 T	6 T	7,5 T	7,5 T	-	-	27 T	Suspensi Biasa
			6 T	7 T	8 T	8 T	-	-	29 T	Sb 2,3,4 : Air Bag Suspension
			6 T	7 T	7,5 T	7,5 T	-	-	28 T	Sb 2 : Air Bag Suspension
6	1,1,222	II	6 T	6 T	7 T	7 T	7 T	-	30 T	Suspensi Biasa
			6 T	7 T	8 T	8 T	8 T	-	33 T	Sb 2,3,4 : Air Bag Suspension
			6 T	7 T	7 T	7 T	7 T	-	31 T	Sb 2 : Air Bag Suspension
		III	6 T	6 T	6 T	6 T	6 T	-	27 T	Suspensi Biasa
			6 T	7 T	7 T	7 T	7 T	-	29 T	Sb 2,3,4 : Air Bag Suspension
			6 T	7 T	6 T	6 T	6 T	-	28 T	Sb 2 : Air Bag Suspension
7	1,222	II	6 T	7 T	7 T	7 T	-	-	27 T	Suspensi Biasa
			6 T	8 T	8 T	8 T	-	-	30 T	Sb 2,3,4 : Air Bag Suspension
		III	6 T	6 T	6 T	6 T	-	-	24 T	Suspensi Biasa
			6 T	7 T	7 T	7 T	-	-	27 T	Sb 2,3,4 : Air Bag Suspension

Keterangan : T dalam Ton

Sumber : (Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2008)

Tabel 2.7 (lanjutan) Konfigurasi Sumbu Beban Kendaraan Kementerian Perhubungan

No	Konfigurasi Sumbu	Kelas Jalan	MST MAKSIMAL						JBKI	
			Sb I	Sb II	Sb III	Sb IV	Sb V	Sb VI	MAX	KETERANGAN
1	1,2-22	II	6 T	10 T	9 T	9 T	-	-	34 T	Suspensi Biasa
		III	6 T	8 T	7,5 T	7,5 T	-	-	29 T	
2	1,22-22	II	6 T	9 T	9 T	9 T	9 T	-	42 T	Suspensi Biasa
		III	6 T	7,5 T	7,5 T	7,5 T	7,5 T	-	36 T	
		II	6 T	10 T	10 T	10 T	10 T	-	46 T	Sb 2,3,4 : Air Bag Suspension
		III	6 T	8 T	8 T	8 T	8 T	-	38 T	
		II	6 T	9 T	9 T	10 T	10 T	-	44 T	Sb 4 dan 5 : Menggunakan Air Bag Suspension
		III	6 T	7,5 T	7,5 T	8 T	8 T	-	38 T	
3	1,22-222	II	6 T	9 T	9 T	9 T	9 T	-	42 T	Suspensi Biasa
		III	6 T	7,5 T	7,5 T	7,5 T	7,5 T	-	36 T	
		II	6 T	10 T	10 T	10 T	10 T	-	46 T	Sb 2,3,4,5,6 : Air Bag Suspension + Steering Axle
		III	6 T	8 T	8 T	8 T	8 T	-	38 T	
		II	6 T	9 T	9 T	10 T	10 T	-	44 T	Sb 1,2,3 = Suspensi Biasa
		III	6 T	7,5 T	7,5 T	8 T	8 T	-	38 T	Sb 4 dan 5 : Menggunakan Air Bag Suspension
		II	6 T	10 T	10 T	10 T	10 T	10 T	56 T	Sb 2,3 : Air Bag Suspension
		III	6 T	8 T	8 T	8 T	8 T	8 T	46 T	Sb 4,5,6 : Menggunakan Air Bag Suspension + Steering Axle
4	1,2+2,2	II	6 T	10 T	10 T	10 T	-	-	36 T	-
		III	6 T	8 T	8 T	8 T	-	-	30 T	-

Keterangan : T dalam Ton

Sumber : (Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2008)

Setelah di dapatkan konfigurasi beban sumbu (ton). Selanjutnya dilakukan pembebanan kelompok beban yang aktual dengan mengacu pada (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016)) denan membagi berdasarkan jenis kelompok sumbu kendaraan niaga.

- Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
- Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
- Sumbu tandem roda tunggal (STdRT).
- Sumbu tandem roda ganda (STdRG).
- Sumbu tridem roda ganda (STrRG).

C. Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu-lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode Benefit Cost Ratio, Internal Rate of Return, kombinasi dari metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 40 tahun. Pada proyek Akhir ini umur rencana yang digunakan adalah 40 tahun.

D. Lalu-Lintas Rencana

Lalu-lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survai beban. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus (2.3) berikut :

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \quad (2.3)$$

Dimana :

JSKN = Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana .

JSKNH = Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.

R = Faktor pertumbuhan komulatif yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana.

C = Koefisien distribusi kendaraan (Tabel 2.7)

Tabel 2.8 Tabel Koefisien Distribusi Kendaraan

Lebar Perkerasan (Lp)	Jumlah lajur (n _l)	Koefisien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50 \text{ m}$	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p < 8,25 \text{ m}$	2 lajur	0,7	0,5
$8,25 \text{ m} \leq L_p < 11,25 \text{ m}$	3 lajur	0,5	0,475
$11,25 \text{ m} \leq L_p < 15,00 \text{ m}$	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p < 18,75 \text{ m}$	5 lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p < 22,00 \text{ m}$	6 lajur	-	0,4

Sumber : (Bina Marga, 2016)

Dari perhitungan nilai Jumlah Total sumbu kendaraan Niaga selama umur rencana (JSKN) maka untuk menentukan asumsi tebal awal perkerasan beton bisa dilihat pada Tabel 2.7 yang kemudian bisa digunakan atau tidak maka dilakukan koreksi pada analisa fatik dan erosi dengan menentukan tebal pondasi bawah minimum dan CBR efektif.

$$\text{Proporsi beban} = \frac{\text{Jumlah Sumbu tiap beban sumbu}}{\text{Jumlah sumbu total semua beban pada setiap jenis sumbu}} \quad (2.4)$$

Lalu lintas Rencana = Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana (JSKN rencana)

Repetisi yang terjadi = Proporsi sumbu x proporsi beban x repetisi yang terjadi

Selanjutnya adalah menghitung repetisi beban dengan mengacu pada (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016)).

Proporsi sumbu = STRT	: 55,8 %
STRG	: 26,4 %
STdRT	: 4,3 %
STdRG	: 12,2 %
STrRG	: 1,3 %

E. Pertumbuhan Lalu-Lintas

Volume lalu-lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap di mana kapasitas jalan dicapai dengan faktor

pertumbuhan lalu-lintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus (2.2) berikut :

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}}{0,01i} \quad (2.5)$$

Dimana :

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

I = Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam (%).

UR = Umur rencana (tahun)

F. Faktor Keamanan Beban

Faktor distribusi lajur untuk kendaraan niaga (truk dan bus) ditetapkan dalam Tabel 2.8. Beban desain pada setiap lajur tidak boleh melampaui kapasitas lajur pada setiap tahun selama umur rencana. Kapasitas lajur mengacu kepada Permen PU No.19/PRT/M/2011 mengenai Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan berkaitan Rasio Volume Kapasitas (RVK) yang harus dipenuhi. Kapasitas lajur maksimum agar mengacu pada MKJI.

Tabel 2.9 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : (Bina Marga, 2016)

G. Beban Sumbu Standar Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau Cumulatif Equivalent Single Axle Load (CESA) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana yang ditentukan sebagai berikut :

Menggunakan VDF untuk masing-masing kendaraan niaga

$$ESA_{TH-1} = (\sum_{\text{jenis kendaraan}} LHRT \times VDF_{JK}) \times D_L \quad (2.6)$$

$$CESA = ESA_{TH-1} \times 365 \times R \quad (2.7)$$

Dimana :

ESA_{TH-1}	= lintasan sumbu standar ekivalen (equivalent tandard axle) rata-rata per hari pada tahun pertama
LHRT	= lintas harian rata-rata tahunan untuk jenis kendaraan niaga tertentu pada lajur rencana
VDF_{JK}	= Vehicle Damage factor untuk jenis kendaraan tertentu
D_L	= Faktor Distribusi Lajur (Tabel 2.8)
CESA	= Kumulatif beban sumbu standar eivalen selama umur rencana
R	= faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (sub bab 2.3.3.6)

2.3.1.7. Tebal Pelat Beton Konvensional

Solusi pekerasan yang banyak dipilih yang didasarkan pada pembebanan dan pertimbangan biaya terkecil diberikan dalam Tabel 2.1 Perkerasan Kaku, Solusi lain dapat diadopsi untuk menyesuaikan dengan kondisi setempat tetapi disarankan untuk tetap menggunakan tabel sebagai langkah awal untuk semua desain. Proses desain untuk perkerasan kaku menurut (Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah, 2003) atau (AUSTROADS, 2004) jumlah kelompok sumbu dan spektrum beban dan tidak membutuhkan nilai CESA. Jumlah kelompok sumbu selama umur rencana digunakan sebagai Tabel 2.9

Tabel 2.2 Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded)	< 4,3 x 10 ⁶	< 8,6 x 10 ⁶	< 25,8 x 10 ⁶	< 43 x 10 ⁶	< 86 x 10 ⁶
Dowel dan bahu beton	YA				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Pondasi LMC	150				
Lapis Pondasi Agregat Kelas A	150				

Sumber : (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016))

Perlu dicatat bahwa bagan di dalam (Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah, 2003) tidak boleh digunakan untuk desain perkerasan kaku. Tersebut didasarkan pada ketentuan berat kelompok kendaraan resmi yang tidak realistis dengan kondisi indonesia. Para desainer harus menggunakan pembebanan kelompok beban yang

aktual. Tabel 2.10 memberikan pembebanan kelompok sumbu yang mewakili untuk indonesia.

Tabel 2.10 Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kendaraan Berat (HVAG)

Beban Kelompok Sumbu	Jenis Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga				
	STRT	STRG	STdRT	STdRG	STrRG
(kN)	Kelompok Sumbu Sebagai Persen dari kenadaraan niaga				
10 s/d 20	7,60				
20 s/d 30	16,50	0,20			
30 s/d 40	18,40	0,50			
40 s/d 50	11,80	1,10			
50 s/d 60	19,00	2,20			
60 s/d 70	7,60	4,90			
70 s/d 80	10,20	7,40			
80 s/d 90	0,70	6,90			
90 s/d 100	1,10	2,60			
100 s/d 110		1,80	1,80		
110 s/d 120		1,60		0,30	
120 s/d 130		3,00	1,80	0,10	
130 s/d 140		3,30	1,80	0,40	
140 s/d 150		1,50	1,80	0,70	
150 s/d 160		0,30		1,00	
160 s/d 170		3,60		1,10	
170 s/d 180		0,10		1,10	
180 s/d 190				0,50	
190 s/d 200				1,60	
200 s/d 210		0,40		2,70	0,13
210 s/d 220		2,40		0,80	
220 s/d 230		0,10		1,00	
230 s/d 240		0,10		0,90	
240 s/d 250				0,70	
250 s/d 260				0,30	
260 s/d 270				1,90	
270 s/d 280				1,00	

Tabel 2.11 (lanjutan) Distribusi Beban Kelompok Sumbu Kemdaraan Berat (HVAG)

280 s/d 290				1,20	
290 s/d 300				0,10	
300 s/d 310					
310 s/d 320				0,70	0,13
320 s/d 330				0,40	0,13
330 s/d 340					
340 s/d 350					
350 s/d 360				0,40	
360 s/d 370					
370 s/d 380				0,90	0,13
380 s/d 390				0,40	
390 s/d 400					0,26
400 s/d 510					0,26
410 s/d 420					0,13
420 s/d 430					
430 s/d 440					
440 s/d 450					0,40
450 s/d 460					0,13
460 s/d 470					
470 s/d 480					0,13
480 s/d 490					
490 s/d 500					
500 s/d 510					
510 s/d 520					0,13
520 s/d 530					
530 s/d 540					
540 s/d 550					
550 s/d 560					0,13
Proporsi Sumbu	55,80%	26,45%	4,30%	12,20%	1,30%

Sumber : (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016))

2.3.1.8. Perencanaan Tulangan

Penulangan pada perkerasan kaku (Rigid Pavement) ada 2, yaitu penulangan memanjang dan penulangan melintang. Luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_s = \frac{\mu \times L \times M \times g \times h}{2 \times f_s} \quad (2.8)$$

Dimana :

A_s = luas penampang tulangan baja (mm^2/m lebar pelat)

f_s = kuat tarik ijin tulangan (Mpa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh

g = gravitasi (m/detik^2)

h = tebal pelat beton (m)

L = jarak antara sambungan yang tidak dikat dan atau tepi bebas pelat (m)

M = berat per satuan volume pelat (kg/m^3)

μ = koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah

Konversi Besi Tulangan ke Wire Mesh

Dalam pelaksanaan pekerjaan struktur bangunan terkadang perlu dilakukan perhitungan konversi besi tulangan batangan konvensional ke besi wire mesh. Ada bermacam alasan yang mungkin melatarbelakangi. Salah satu nya yaitu untuk mempercepat pekerjaan. Jika menggunakan besi batangan maka harus merangkai satu persatu sehingga membutuhkan waktu cukup lama, berbeda jika menggunakan besi wire mesh yang hanya tinggal menaruh dan mengikat di beberapa sisi saja. Dengan begini maka ada peluang penghematan waktu, tenaga kerja sekaligus biaya operasional. Untuk menghitung konversi besi tulangan ke wire mesh.

Prinsipnya adalah sebagai berikut:

1. Pertama kita lihat dulu desain rencana tulangan konvensional mau menggunakan besi diameter berapa dan berapa jarak pemasangannya.

2. Kita hitung luas besi tulangan rencana tersebut dalam 1m

- Luas tulangan konvensional

$$A_s = 0,25 \times \pi \times D^2 \times \frac{1000}{\text{Jarak}}$$

3. Kita konversikan mutu besi konvensional ke mutu besi wire mesh

- Luas tulangan wire mesh yang dibutuhkan

$$A_s \text{ butuh} = A_s \times \left(\frac{f_{yd}}{f_{yw}} \right)$$

4. Kita cari luas besi wire mesh yang sama dengan luas tulangan konvensional atau boleh sesikit diatasnya

- Luas tulangan wire mesh

Dicoba tulangan wire mesh

$$A_s W = 0,25 \times \pi \times D^2 \times \frac{1000}{\text{Jarak}}$$

Syarat :

$$A_s W > A_s \text{ butuh} = (\text{OKE})$$

- Luas tulangan wire mesh sisa

$$A_s W \text{ sisa} = +A_s w - A_s \text{ Butuh}$$

Keterangan:

$$D = \text{Diameter tulangan deform}$$

A_s = Luas tulangan
 F_{yd} = Mutu tulangan besi deform
 F_{yw} = Mutu tulangan besi wiremesh

2.3.1.9. Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk :

- Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta beban lalu-lintas.
- Memudahkan pelaksanaan.
- Mengakomodasi gerakan pelat.

Pada perkerasan beton semen terdapat beberapa jenis sambungan antara lain :

- Sambungan memanjang
- Sambungan melintang
- Sambungan isolasi

Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (joint sealer), kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi (joint filler).

A. Sambungan memanjang dengan batang pengikat (tie bars)

Pemasangan sambungan memanjang ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 3 - 4 m.

Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU 24 dan berdiameter 16 mm.

Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_t = 204 \times b \times h \quad (2.9)$$

$$l = (38,3 \times \phi) + 75 \quad (2.10)$$

Dengan pengertian :

A_t = Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm²).

B = Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m).

h = Tebal pelat (m).

l = Panjang batang pengikat (mm).

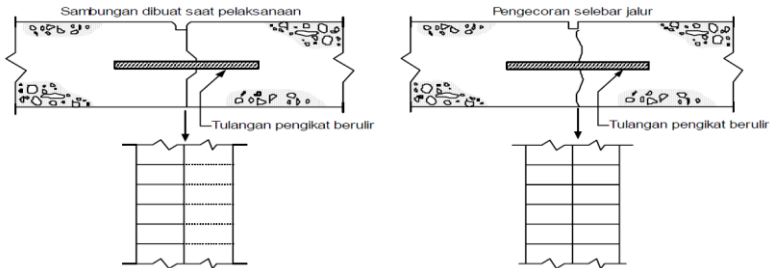
ϕ = Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

Tipikal sambungan memanjang diperlihatkan pada Gambar 2.1

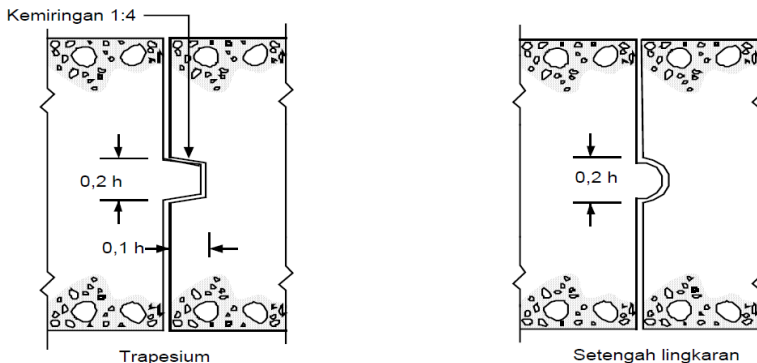
B. Sambungan pelaksanaan memanjang

Sambungan pelaksanaan memanjang umumnya dilakukan dengan cara penguncian. Bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Tipikal Sambungan Memanjang

Sumber : (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)



Gambar 2.2 Ukuran standar penguncian sambungan memanjang

Sumber : (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

Sebelum penghamparan pelat beton di sebelahnya, permukaan sambungan pelaksanaan harus dicat dengan aspal atau kapur tembok untuk mencegah terjadinya ikatan beton lama dengan yang baru.

C. Sambungan susut memanjang

Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan salah satu dari dua cara ini, yaitu menggergaji atau membentuk pada saat beton masih plastis dengan kedalaman sepertiga dari tebal pelat.

D. Sambungan susut dan sambungan pelaksanaan melintang

Ujung sambungan ini harus tegak lurus terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasan. Untuk mengurangi beban dinamis, sambungan melintang harus dipasang dengan kemiringan 1 : 10 searah perputaran jarum jam.

E. Sambungan susut melintang

Kedalaman sambungan kurang lebih mencapai seperempat dari tebal pelat untuk perkerasan dengan lapis pondasi berbutir atau sepertiga dari tebal pelat untuk lapis pondasi stabilisasi semen sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.3 dan 2.4. Jarak sambungan susut melintang untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan sekitar 4 - 5 m, sedangkan untuk perkerasan beton bersambung dengan tulangan 8 - 15 m dan untuk sambungan perkerasan beton menerus dengan tulangan sesuai dengan kemampuan pelaksanaan.

Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antara ruji 30 cm, lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut. Setengah panjang ruji polos harus dicat atau dilumuri dengan bahan anti lengket untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton. Diameter ruji tergantung pada tebal pelat beton sebagaimana terlihat pada Tabel 2.9

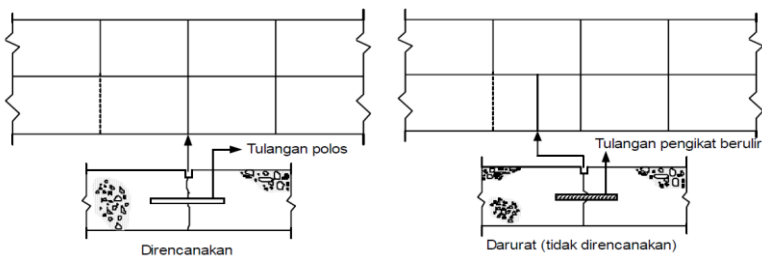
Tabel 2.12 Diameter Ruji

No	Tebal pelat beton, h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36

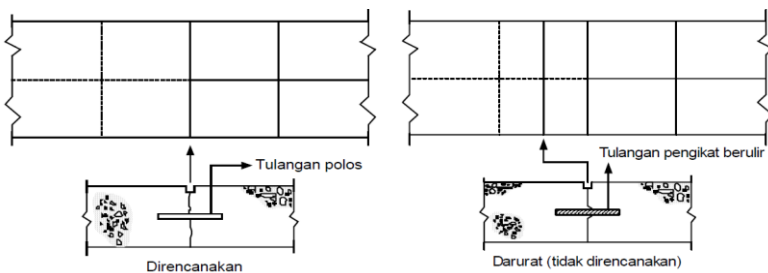
Sumber : (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003)

F. Sambungan pelaksanaan melintang

Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan pada sambungan yang direncanakan harus menggunakan batang tulangan polos yang diletakkan di tengah tebal pelat. Tipikal sambungan pelaksanaan melintang diperlihatkan pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4. Sambungan pelaksanaan tersebut di atas harus dilengkapi dengan batang pengikat berdiameter 16 mm, panjang 69 cm dan jarak 60 cm, untuk ketebalan pelat sampai 17 cm. Untuk ketebalan lebih dari 17 cm, ukuran batang pengikat berdiameter 20 mm, panjang 84 cm dan jarak 60 cm.



Gambar 2.3 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak



Gambar 2.4 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran seluruh lebar perkerasan

Tabel 2.13 Ukuran dan Jarak Dowel yang Disarankan

Tebal Pelat Perkerasan		Dowel					
		Diameter		Panjang		Jarak	
inci	mm	inci	mm	inci	mm	Inci	mm
6	150	3/4.	19	18	450	12	300
7	175	1	25	18	450	12	300
8	200	1	25	18	450	12	300
9	225	1 3/4	32	18	450	12	300
10	250	1 3/4	32	18	450	12	300
11	275	1 3/4	32	18	450	12	300
12	300	1 1/2	38	18	450	12	300
13	325	1 1/2	38	18	450	12	300
14	350	1 1/2	38	18	450	12	300

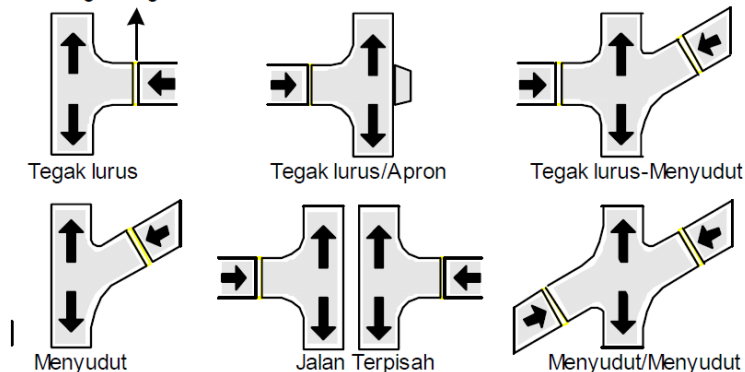
Sumber : (E.J.Yoder, 2008)

G. Sambungan isolasi

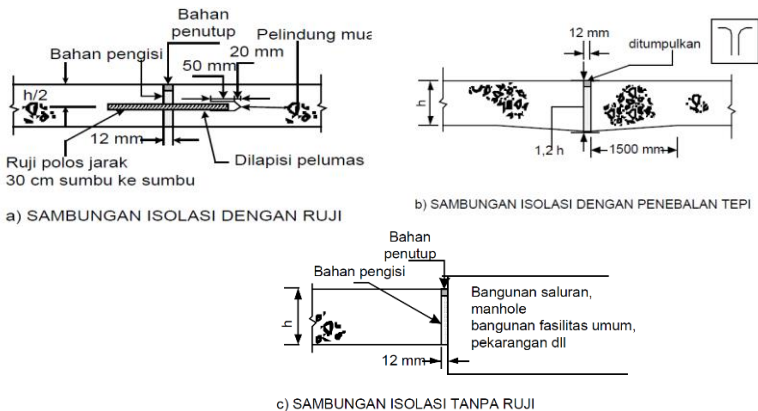
Sambungan isolasi memisahkan perkerasan dengan bangunan yang lain, misalnya manhole, jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan dan lain sebagainya. Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi diperlihatkan pada Gambar 2.5

Sambungan isolasi harus dilengkapi dengan bahan penutup (joint sealer) setebal 5 – 7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (joint filler) sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.6

Sambungan isolasi yang diperlukan di belakang tulangan



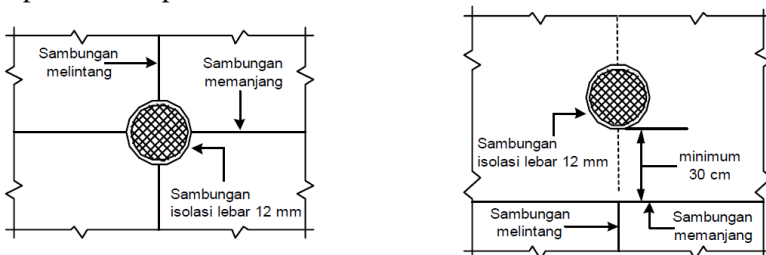
Gambar 2.5 Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi



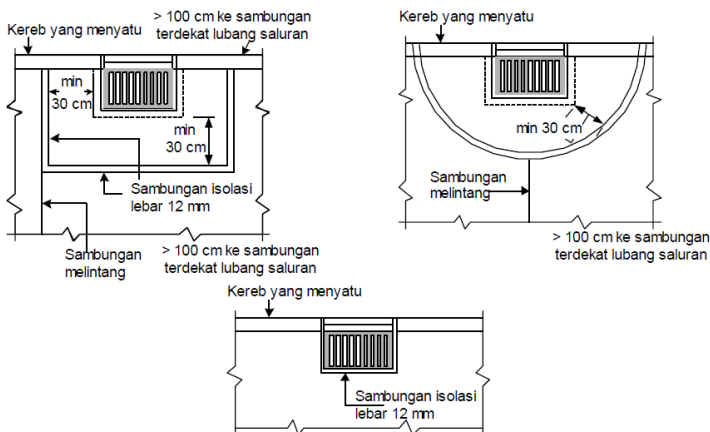
Gambar 2.6 Sambungan isolasi

Sambungan isolasi yang digunakan pada bangunan lain, seperti jembatan perlu pemasangan ruji sebagai transfer beban. Pada ujung ruji harus dipasang pelindung muai agar ruji dapat bergerak bebas.

Pelindung muai harus cukup panjang sehingga menutup ruji 50 mm dan masih mempunyai ruang bebas yang cukup dengan panjang minimum lebar sambungan isolasi ditambah 6 mm seperti diperlihatkan pada Gambar 2.6 a. Ukuran ruji dapat dilihat pada Tabel 2.9 Sambungan isolasi pada persimpangan dan ram tidak perlu diberi ruji tetapi diberikan penebalan tepi untuk mereduksi tegangan. Setiap tepi sambungan ditebalkan 20% dari tebal perkerasan sepanjang 1,5 meter seperti diperlihatkan pada Gambar 2.6 b. Sambungan isolasi yang digunakan pada lubang masuk ke saluran, manhole, tiang listrik dan bangunan lain yang tidak memerlukan penebalan tepi dan ruji, ditempatkan di sekeliling bangunan tersebut sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 2.6 c, 2.7 dan 2.8



Gambar 2.7 tampak atas penempatan sambungan isolasi pada manhole



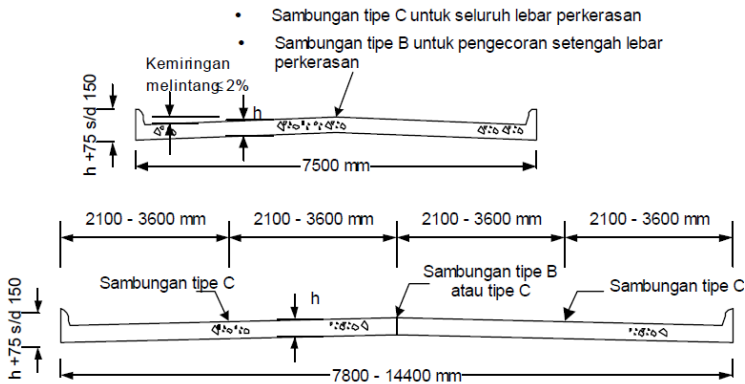
Gambar 2.8 Tampak atas penempatan sambungan isolasi pada lubang masuk saluran

H. Pola sambungan

Pola sambungan pada perkerasan beton semen harus mengikuti batasan-batasan sebagai berikut :

- Hindari bentuk panel yang tidak teratur. Usahakan bentuk panel persegi mungkin. Perbandingan maksimum panjang panel terhadap lebar adalah 1,25.
- Jarak maksimum sambungan memanjang 3 - 4 meter.
- Jarak maksimum sambungan melintang 25 kali tebal pelat, maksimum 5,0 meter.
- Semua sambungan susut harus menerus sampai kerb dan mempunyai kedalaman seperempat dan sepertiga dari tebal perkerasan masing-masing untuk lapis pondasi berbutir dan lapis stabilisasi semen.
- Antar sambungan harus bertemu pada satu titik untuk menghindari terjadinya retak refleksi pada lajur yang bersebelahan.
- Sudut antar sambungan yang lebih kecil dari 60 derajat harus dihindari dengan mengatur 0,5 m panjang terakhir dibuat tegak lurus terhadap tepi perkerasan.
- Apabila sambungan berada dalam area 1,5 meter dengan manhole atau bangunan yang lain, jarak sambungan harus diatur sedemikian rupa sehingga antara sambungan dengan manhole atau bangunan yang lain tersebut membentuk sudut tegak lurus. Hal tersebut berlaku untuk bangunan yang berbentuk bundar. Untuk bangunan berbentuk segi empat, sambungan harus berada pada sudutnya atau di antara dua sudut.
- Semua bangunan lain seperti manhole harus dipisahkan dari perkerasan dengan sambungan muai selebar 12 mm yang meliputi keseluruhan tebal pelat.
- Perkerasan yang berdekatan dengan bangunan lain atau manhole harus ditebalkan 20% dari ketebalan normal dan berangsur-angsur berkurang sampai ketebalan normal sepanjang 1,5 meter seperti diperlihatkan pada Gambar 11b.
- Panel yang tidak persegi empat dan yang mengelilingi manhole harus diberi tulangan berbentuk anyaman sebesar 0,15% terhadap penampang beton semen dan dipasang 5 cm di bawah permukaan atas. Tulangan harus dihentikan 7,5 cm dari sambungan.

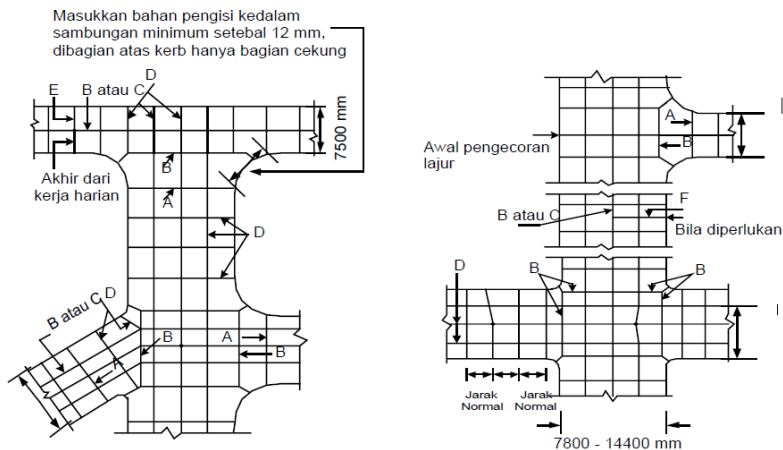
Tipikal pola sambungan diperlihatkan pada Gambar 2.9 dan 2.10.



Gambar 2.9 Potongan melintang perkerasan dan lokasi tumpuan

I. Penutup sambungan

Penutup sambungan dimaksudkan untuk mencegah masuknya air dan atau benda lain ke dalam sambungan perkerasan. Benda-benda lain yang masuk ke dalam sambungan dapat menyebabkan kerusakan berupa gompal dan atau pelat beton yang saling menekan ke atas (blow up).



Gambar 2.10 Detail potongan melintang sambungan perkerasan

Keterangan 2.9 dan 2.10 :

- A = Sambungan isolasi
- B = Sambungan pelaksanaan memanjang
- C = Sambungan susut memanjang
- D = Sambungan susut melintang

E = Sambungan susut melintang yang direncanakan

F = Sambungan pelkasanaan melintang yang tidak direncanakan

2.3.2. Metode AASHTO

2.3.2.1. Perkerasan Kaku

Jenis perkerasan kaku adalah perkerasan dengan struktur yang terbuat dari pelat beton. Struktur ini dapat dibangun menerus atau tidak menerus dengan atau tanpa tulangan. Biasanya struktur ini dilapisi oleh aspal dimana kemampuan perkerasannya untuk menahan beban lalu lintas tergantung sepenuhnya pada lapisan betonnya. Lapisan beton memiliki kekakuan sangat tinggi dimana mampu menyebarkan beban pada bidang luas sehingga dihasilkan tegangan yang sangat rendah pada lapisan dibawahnya.

Berdasarkan penggunaan bahan, maka perkerasan kaku dapat dibagi atas :

- a. Perkerasan kaku dengan lapisan beton sebagai lapisan aus, yang terdiri atas lapisan beton bersambung tanpa tulangan, lapisan beton bersambung dengan tulangan, lapisan beton menerus dengan tulangan, dan lapisan beton pra tekan.
- b. Perkerasan komposit, yaitu perkerasan kaku dengan lapisan beton sebagai lapis pondasi dan campuran aspal-agregat sebagai lapis permukaan. Biasanya campuran aspal-agregat ini berfungsi sebagai lapis aus atau *levelling* serta tidak dirancang memiliki nilai structural.

2.3.2.2. Komponen Struktur dari Perkerasan Kaku

Adapun komponen-komponen struktur dari perkerasan kaku adalah:

- a. Tanah Dasar
Sifat, daya dukung, beserta keseragaman tanah dasar mempengaruhi keawetan dan kekuatan pelat beton. Daya dukung tanah dalam perkerasan kaku dinyatakan dalam Modulus Reaksi Tanah (k) yang didapatkan dari pengujian *Plate Bearing Test*.
- b. Lapis Pondasi Bawah
Lapisan ini berfungsi sebagai pengendali pengaruh kembang susut tanah dasar, mencecah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi plat, memberi dukungan yang mantap dan seragam pada pelat, serta sebagai perkerasan jalan selama masa konstruksi. Tebal minimum lapis pondasi bawah adalah 10 cm sangat disarankan dibangun pada seluruh bagian jalan.
- c. Lapisan Beton
Karena keruntuhan perkerasan akibat repetisi beban, maka

parameter kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik uji lentur (flexural, strength) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 Mpa (30-50 kg/cm)

2.3.2.3. Material Perkerasan Kaku

a. Semen Portland

Semen Portland mempunyai banyak jenis, yaitu *Portland Composite Cement* (PCC), PPC (*Portland Pozzolan Cement*), dan OPC (*Ordinary Portland Cemen*). Semen PPC (*Portland Pozzolan Cement*) termasuk kedalam golongan *Blended Cement* yang bersifat hidrolis dan memiliki kekuatan awal rendah (lama mengeras), serta tingkat kebutuhan air banyak dengan kekuatan beton keras yang kurang baik. Terdapat 5 jenis tipe semen Portland yaitu:

1. Jenis Semen Portland Type I

Jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus untuk hidrasi panas dan kekuatan tekan awal. Kegunaan Semen Portland Type I diantaranya konstruksi bangunan untuk rumah permukiman, gedung bertingkat, dan jalan raya

2. Jenis Semen Portland Type II

Kegunaan Semen Portland Type II pada umumnya sebagai material bangunan yang letaknya dipinggir laut, tanah rawa, dermaga, saluran irigasi, dan bendungan.

3. Jenis Semen Portland Type III

Karakteristik Semen Portland Type III diantaranya adalah memiliki daya tekan awal yang tinggi pada permulaan setelah proses pengikatan terjadi, lalu kemudian segera dilakukan penyelesaian secepatnya. Jenis semen Portland type III digunakan untuk pembuatan bangunan tingkat tinggi, jalan beton atau jalan raya bebas hambatan, hingga bandar udara dan bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan asam sulfat

4. Jenis Semen Portland Type IV

Jenis semen portland type IV diminimalkan pada fase pengerasan sehingga tidak terjadi keretakan. Kegunaan Portland Type IV digunakan untuk dam hingga lapangan udara.

5. Jenis Semen Portland Type V

Kegunaan Semen Potrtrland Type V dirancang untuk memenuhi kebutuhan di wilayah dengan kadar asam sulfat tinggi seperti misalnya rawa-rawa, air laut atau pantai, serta kawasan tambang. Jenis bangunan yang membutuhkan jenis ini diantaranya bendungan, pelabuhan, konstruksi dalam air, hingga pembangkit tenaga nuklir.

b. Agregat

Agregat yang digunakan antara lain adalah agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar yang digunakan dalam beton semen adalah bahan inert yang tidak bereaksi dengan semen dan biasanya terdiri dari batu kerikil, batu pecah, atau terapung terak hancur.

c. Tulangan

Tulangan Baja digunakan pada perkerasan beton untuk mengurangi jumlah retak yang terjadi akibat beban lalu lintas, sebagai mekanisme transfer beban pada persendian, atau sebagai alat untuk mengikat dua pelat bersama-sama. Tulangan baja digunakan untuk mengendalikan retak yang biasanya disebut *temperature steel*, sedangkan batang baja digunakan sebagai mekanisme pemindah muatan dikenal sebagai *bar dowel*, dan yang digunakan untuk menghubungkan dua pelat secara Bersama-sama dikenal sebagai *tie bars*.

2.3.2.4. Perencanaan Kaku Metode AASHTO

Metode AASHTO 1993 (*American Association of State Highway and Transportation Official*) *road test* adalah salah satu metode perubahan terhadap metode AASHTO 1986 dimana metode ini menggunakan grafik-grafik atau metode empiris berdasarkan analisa lalu-lintas selama umur rencana. Untuk memenuhi persyaratan tersebut AASHTO memberikan persamaan dasar berikut ini:

Perkerasan Kaku Metode AASHTO 1993 :

$$\begin{aligned} \text{Log } (W_{18}) &= Z_R S_o + 7,35 \log_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \left[\frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}} \right]} + \\ &\quad (4,22 - 0,34 \text{Pt}) \times \log_{10} \frac{S' c C d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J (D^{0,75} \frac{18,42}{(\frac{E_c}{K})^{0,25}})} \end{aligned}$$

Dengan :

- $W18$ = Lintas ekivalen selama umur rencana (18 Kips ESAL)
 ΔPSI = *Present Serviceability Indeks*/ Nilai Indeks Permukaan
 Z_r = Standar Normal Deviasi
 S_o = Standar Deviasi Keseluruhan (0.30-0.40)
 Sc' = Modulus Keruntuhan beton (psi)
 C_d = Koefisien Drainase
 J = Koefisien Transfer Beban (3.2 diasumsikan bila sudut pandang dilindungi)
 E_c = Modulus Elastisitas (psi)
 K = Modulus Reaksi tanah dasar (psi)
 D = Tebal Pelat Beton (inches)
 IP_o = Indeks permukaan pada awal umur rencana
 IP_t = Indeks permukaan pada akhir umur rencana

2.3.2.5. Indeks Permukaan

A. Indeks Permukaan Awal (IP_o)

Adalah nilai kerataan / kehalusan serta kekokohan permukaan jalan pada awal usia rencana. Nilai IP_o dinyatakan pada AASHTO 1993 bahwa pemilihan P_o melalui beberapa pertimbangan dan AASHTO telah memberikan untuk perkerasan lentur $P_o = 4.2$, sedangkan untuk perkerasan kaku $P_o = 4.5$.

B. Indeks Permukaan Akhir (IP_t)

Dalam menentukan indeks permukaan (IP) pada akhir umur rencana, ditentukan berdasarkan pertimbangan pada indeks terendah yang akan ditoleransi sebelum rehabilitasi Nilai $P_t = 2.5$ atau lebih tinggi disarankan untuk desain jalan utama dan $P_t = 2.0$ untuk jalan raya dengan volume lalu lintas yang lebih rendah.

Tabel 2.14 Indeks Permukaan Pada Akhir Usia

<i>Percent of people stating unacceptable</i>	P_t
12	3.0
55	2.5
85	2.0

Sumber : (American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993)

2.3.2.6. Faktor Distribusi Arah

A. Faktor Distribusi Arah (D_D)

Faktor distribusi arah digunakan untuk menunjukkan distribusi kendaraan ke masing-masing arah. Jika data lalu lintas yang digunakan adalah data untuk satu arah, maka $D_D=1$. Jika data lalu lintas yang digunakan adalah data untuk dua arah $D_D=0,3 - 0,7$. Untuk perencanaan umumnya diambil $D_D= 0,5$ kecuali pada kasus khusus dimana kendaraan berat cenderung menuju satu arah tertentu atau pada kasus dimana diperoleh data volume lalu lintas untuk masing-masing arah.

B. Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Digunakan untuk menunjukkan distribusi kendaraan ke lajur rencana.

Tabel 2.15 Faktor Distribusi Lajur (D_L)

Jumlah lajur per arah	Persen sumbu standar dalam lajur rencana
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Sumber: (American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993)

2.3.2.7. Penetapan Faktor Ekivalen Untuk Perkerasan Lentur dan Kaku

Perencanaan perkerasan lentur berdasarkan baik pada kendaraan bersumbu tunggal maupun yang bersumbu ganda, dengan sumbu tunggal mempunyai berat 2 sampai 40 kips dan sumbu ganda mempunyai 10 sampai 48 kips maka harus diekivalenkan dengan sumbu beban standar sumbu tunggal yaitu 18 kips. Faktor ekivalen untuk struktur number dari 1 sampai 6 serta $IP_t = 2-3$

Realibility (R)

Faktor keandalan desain struktur perkerasan digunakan untuk memperhitungkan variasi yang mungkin terjadi pada data beban lalu lintas (nilai N) dan data kondisi perkerasan (nilai PSI). Variasi data tersebut dianggap mengikuti distribusi normal, sehingga faktor keandalan desain kemudian hanya ditentukan oleh deviasi standard an nilai S_o dan tingkat probabilitas (Z_R).

Secara garis besar pengaplikasian konsep reliability adalah sebagai berikut :

1. Menentukan klasifikasi ruas jalan yang direncanakan.
2. Menentukan tingkat reliability.
3. Memilih standar deviasi (S_o). Nilai ini mewakili dari kondisi- kondisi lokal yang ada. Berdasarkan data dari jalan percobaan AASHTO ditentukan nilai S_o sebesar 0,25 untuk *Rigid pavement* dan 0,35 untuk *Flexible Pavement*. Hal ini berhubungan dengan total standar deviasi sebesar 0,35 dan 0,45 untuk lalu lintas untuk jenis perkerasan *rigid* dan *flexible*.

Tabel 2.16 Nilai Reabilitas

Klasifikasi Jalan	Reability , R (%)	
	Urban	Rural
Jalan Tol	85-99.9	80-99.9
Arteri	80-99	75-95
Kolektor	80-95	75-95
Lokal	50-80	50-80

Sumber : (American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993)

Tabel 2.17 Nilai Realibility ZR dan FR

Reabilitas, R, %	<i>Standard Normal Deviate</i>	F_R untuk S₀ = 0,4	F_R untuk S₀ = 0,45	F_R untuk S₀ = 0,5
	(Z _R)			
50	0,000	1,00	1,00	1,00
60	-0,253	1,26	1,30	1,34
70	-0,524	1,62	1,72	1,83
75	-0,674	1,86	2,01	2,17
80	-0,841	2,17	2,39	2,63
85	-1,037	2,60	2,93	3,30
90	-1,282	3,26	3,77	4,38
91	-1,340	3,44	4,01	4,68
92	-1,405	3,65	4,29	5,04
93	-1,476	3,89	4,62	5,47
94	-1,555	4,19	5,01	5,99
95	-1,645	4,55	5,50	6,65
96	-1,751	5,02	6,14	7,51
97	-1,881	5,65	7,02	8,72
98	-2,054	6,63	8,40	10,64
99	-2,327	8,53	11,15	14,57

99,9	-3,090	17,22	24,58	35,08
99,99	-3,750	31,62	48,70	74,99

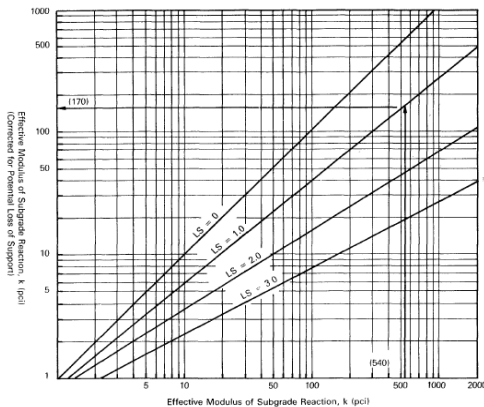
(Sumber : AASHTO, 1993)

2.3.2.8. Resilient Modulus (M_R) Tanah Dasar/Sifat Bahan Lapisan Perkerasan

M_R digunakan sebagai pengganti nilai CBR untuk menyatakan karakteristik tanah dasar, lapisan pondasi bawah, dan lapisan pondasi (khususnya untuk M_R tidak besar dari 300 MPa). Perhitungan Modulus Resilien tergantung kepada jenisnya. Untuk pengukuran elastisitas tanah dasar dinyatakan dengan Modulus Resilien (M_R) yang dapat diperoleh dari korelasi dengan nilai CBR dengan persamaan berikut ini:

Selanjutnya yang dilakukan apabila dalam perencanaan menggunakan lapisan pondasi bawah (*subbase*) adalah dengan menentukan effective modulus of subgrade reaction dengan menggunakan grafik yang terdapat pada Gambar 2.4.

Gambar 2.11 Koreksi Effective Modulus of Subgrade



Sumber : (American Association Of State Highway And Transportation Officials, 1993)

Tabel 2.18 Nilai LS

Jenis Bahan	LS
Cement Treated Granular Base (E=1000.000-2.000.000 psi)	0.0-1.0
Cement Agregate Mixtures (CTB, CTSB, RCC, LC) (E=500.000-1000.000 psi)	0.0-1.0
Asphalt Treated Base (ATB) (E=350.000-1000.000 psi)	0.0-1.0
Bitumenious Stabilized Mixture (E=40.000-300.000 psi)	0.0-1.0
Stabilisasi dengan kapur (E=20.000-70.000 psi)	1.0-3.0
Unbonded Granular Material (E=15.000-45.000 psi)	1.0-3.0
Material Tanah Dasar Alami atau Bergradasi Halus (E=3000-40.000 psi)	2.0-3.0

(American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993)

2.3.2.9. Serviceability Index

Serviceability merupakan tingkat pelayanan yang diberikan oleh sistem perkerasan yang kemudian dirasakan oleh pengguna jalan. Untuk *Serviceability* ini parameter utama yang dipertimbangkan adalah nilai *Present Serviceability Index (PSI)*. Nilai *Serviceability* ini merupakan nilai yang menjadi penentu tingkat pelayanan fungsional dari suatu system perkerasan jalan. Secara numeric *Serviceability* ini merupakan fungsi dari beberapa parameter antara lain ketidakrataan, jumlah lobang, luas tambalan, dll. Nilai *Serviceability* ini diberikan dalam beberapa tingkatan antara lain:

1. Untuk perkerasan yang baru dibuka open traffic) nilai *Serviceability* ini diberikan sebesar 4,0 – 4,2. Nilai ini dalam terminology perkerasan diberikan sebagai nilai initial *Serviceability* (Po).
2. *Serviceability* ini diberikan sebesar 2,0. Nilai ini dalam

terminology perkerasan sebagai nilai terminal *Serviceability* (Pt).

3. Untuk perkerasan yang sudah rusak dan tidak bisa dilewati, maka nilai *Serviceability* ini akan diberikan sebesar 1,5. Nilai ini dalam terminology perkerasan diberikan sebagai nilai *Failure Serviceability* (Pt).

2.3.2.10. Kualitas Drainase

Selain terhadap daya dukung tanah dasar dan penurunan nilai PSI seperti yang telah diuraikan, pengaruh air khususnya terhadap lapisan agregat (yaitu : lapisan pondasi dan lapisan pondasi bawah) mulai diperhitungkan pada metode AASHTO 1993 melalui konstanta, m_i . Berbagai jenis kerusakan struktur perkerasan yang dapat terjadi akibat pengaruh air yang terperangkap dalam lapisan agregat antara lain adalah:

- a. Penurunan kekuatan lapisan agregat
- b. Penurunan kekuatan tanah dasar
- c. Pemompaan material halus keluar dari lapisan agregat yang dapat menurunkan daya dukung dan kemudian dapat berlanjut dengan terjadinya retak dan lubang.

Tabel 2.19 Definisi Kualitas Drainase

Kualitas Drainase	Pergerakan Air
Baik Sekali	2 Jam
Baik	1 Hari
Sedang	1 Minggu
Kurang Baik	1 Bulan
Tidak Baik	Air tidak mengalir

Sumber : (American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993)

Kualitas drainase pada perkerasan lentur diperhitungkan dalam perencanaan dengan menggunakan koefisien kekuatan relatif yang dimodifikasi. Pada Tabel 2.20, memberikan nilai m_i untuk berbagai kualitas drainase dan lama struktur perkerasan dalam kondisi jenuh.

Tabel 2.20 Rekomendasi Nilai m_i untuk Flexible Pavement

Kualitas Drainase	Persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh			
	$\leq 1 \%$	1- 5 %	5 – 25 %	$\geq 25 \%$
Baik Sekali	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Baik	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Sedang	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Kurang Baik	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Tidak Baik	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Sumber : (American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993)

Nilai $m = 1.00$ ditetapkan untuk kondisi drainase pada jalan uji AASHTO yang dianggap memiliki kualitas drainase sedang (perlu waktu seminggu untuk mengalirkan air) dengan lama waktu lapisan agregat mendekati jenuh dalam setahun sekitar 5% (Kosasih, 2000)..

Tabel 2.21 Rekomendasi Nilai C_d untuk Rigid pavement

Kualitas Drainase	Persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh			
	$\leq 1 \%$	1- 5 %	5 – 25 %	$\geq 25 \%$
Baik Sekali	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Baik	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Sedang	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Kurang Baik	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Tidak Baik	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Sumber :

(American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993)

2.3.2.11. Structure Number (SN)

Merupakan harga yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan, yang besarnya tergantung kepada analisa lalu – lintas yang diekivalenkan terhadap beban gandar tunggal 18 kips dan kondisi jalan.

Hubungan ini dinyatakan dalam rumus :

$$SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$$

Dimana :

$a_1.a_2.a_3$ = merupakan koefisien kekuatan relative bahan untuk masing-masing lapisan.

$D_1.D_2.D_3$ = merupakan tebal untuk masing- masing lapisan.

$m_2.m_3$ = koefisien drainase masing-masing lapisan

Tebal lapisan perkerasan yang diperoleh dari persamaan bertingkat tersebut di atas biasanya dibulatkan ke atas sebagai bilangan bulat. Khusus untuk lapisan perkerasan dengan bahan pengikat, seperti : aspal, semen atau kapur, tebal lapisan perkerasan dapat dibulatkan ke atas dengan kelipatan ½ cm.

2.3.2.12. Koefisien Lapisan Perkerasan (a)

Material untuk lapisan perkerasan mempunyai kekuatan yang berbeda sesuai dengan fungsi dari masing- masing lapisan. Karena pada lingkungan yang bermacam- macam lalu lintas dan pelaksanaan konstruksi, disarankan didalam perencanaan menggunakan koefisien lapisan berdasarkan percobaan sendiri.

Tabel 2.22 Koefisien Lapisan Perkerasan

Stabilized <i>Base</i> Material	0,30 – 0,40
Sub <i>Base</i> Course Crushed Stone	0,11

Sumber : (American Association Of State Highway And
Transportation Officials, 1993)

2.3.2.13. Tebal Minimum Setiap Lapis

Tebal minimum setiap lapis perkerasan ditentukan berdasarkan mutu daya dukung lapis dibawahnya yang diperoleh dari nilai SN menurut persamaan bertingkat berikut. Ketiga nilai SN dalam persamaan bertingkat masing-masing dihitung terhadap nilai M_R dari tanah dasar, lapisan pondasi bawah dan lapisan pondasi.

Gambar 2.4 Ilustrasi Penentuan Tebal Minimum Setiap Lapisan Perkerasan

Setiap lapisan perkerasan mempunyai batas ketebalan minimum yaitu:

1. Lapisan Permukaan = 5 cm
2. Lapis Pondasi *Base* = 10 cm
3. Lapis Pondasi *Subbase* = 10 cm

tebal minimum lapis permukaan dari beton aspal dan lapis pondasi batu pecah dapat juga ditentukan dengan Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Tebal Lapisan Minimum Permukaan dan Lapisan

ESAL	Tebal minimum lapisan			
	Beton Aspal		Pondasi Batu Pecah	
	inci	cm	inci	cm
< 50.000	1	2,54	4	10,16
50.001 – 150.000	2	5,08	4	10,16
150.001 – 500.000	2,5	6,35	4	10,16
500.001 – 2.000.000	3	7,62	6	15,24
2.000.001 – 7.000.000	3,5	8,89	6	15,24
> 7.000.000	4	10,16	6	15,24

(Sumber : WSDOT)

2.3.2.14. Modulus Elastisitas Beton dan Flextural Strength (S'c)***Rigid pavement***

Untuk flextural strength beton normal pada umumnya digunakan $S'c = 45 \text{ kg/cm}^2 = 650 \text{ psi}$.

2.3.2.15. Load Transfer Rigid pavement

Tabel 2.24 Tabel Load Transfer

Bahu	Aspal		Beton Semen	
Alat Transfer Beban	Ada	Tidak Ada	Ada	Tidak Ada
Tipe Perkerasan				

1. Bersambung tanpa tulangan dan bersambung dengan tulangan	3.2	3.8-4.4	2.5-3.1	3.6-4.2
2. Menerus dengan tulangan	2.9-3.2	N/A	2.3-2.9	N/A

Sumber : (American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993)

2.3.2.16. Tulangan dan Sambungan

1. Perkerasan Beton Bertulang Bersambung (Tanpa Tulangan dan Dengan Tulangan)

Untuk perkerasan yang menggunakan system sambungan tanpa tulangan, direncanakan untuk tidak terjadi retak diantara sambungan akibat perubahan suhu dan kadar air. Dengan beberapa faktor yang harus diperhatikan seperti lokasi, mutu, tebal *subbase*, kondisi agregat dan lain-lain. Perkerasan beton dengan tulangan digunakan untuk mengantisipasi retak selama umur pelayanan akibat dari faktor pergerakan vertical butiran halus tanah dasar. Perumusan sambungan perkerasan beton bertulang bersambung dengan tulangan:

$$A_s = (11,76 \text{ h L}^{\wedge'} f_a) / f_s$$

dimana ;

A_s = luas tulangan yang dibutuhkan (mm^2/m)

F = koef. Gesekan pelat beton dan lap. Bawah

L = jarak antar sambungan (m) H = tebal pelat (mm)

f_s = tegangan tarik baja ijin, (MPa) ± 230 MPa catatan : A_s minimum menurut SNI91 untuk segala keadaan 0.14% dari luas penampangan beton.

Tabel 2.25 Tabel Load Transfer

Friction Factor	
Burtu, lapen atau konstruksi sejenisnya	2.2
Aspal beton, lataston	1.8
Stabilisasi kapur	1.8
Stabilisasi aspal	1.8
Stabilisasi semen	1.8
Koral sungai	1.5
Batu Pecah	1.5
Sirtu	1.2
Tanah	0.9

2. Dowel *Rigid pavement*

Dowel berupa batang bata tulangan polos maupun profil yang digunakan sebagai sarana penyambung/pengikat pada beberapa jenis sambungan pelat beton perkerasan jalan. Dowel berfungsi sebagai penyalur beban pada sambungan yang dipasang. Adapun ukuran dan jarak batang dowel yang disarankan untuk digunakan pada perkerasan kaku antara lain

Tabel 2.26 Tabel Dowel

Tebal Pelat Perkerasan		Dowel					
		Diameter Panjang		Panjang		Jarak	
inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch	Mm
6	150	¼	19	18	450	12	300
7	175	1	25	18	450	12	300
8	200	1	25	18	450	12	300
9	225	1 ¼	32	18	450	12	300
10	250	1 ¼	32	18	450	12	300
11	275	1 ¼	32	18	450	12	300
12	300	1 ½	38	18	450	12	300

13	325	1 ½	38	18	450	12	300
14	350	1 ½	38	18	450	12	300

Sumber : (E.J.Yoder, 2008)

3. Tie Bar Rigid pavement

Tie bar merupakan potongan baja yang diprofilkan dan dipasang pada sambungan lidah-alur dengan maksud untuk mengikat pelat agar tidak bergerak horizontal. Berdasarkan Tugas Akhir Linda Aisyah Tahun 2015 mengenai Peningkatan Ruas Jalan Mahar Martanegara (Leuwigajah) Kecamatan Cimahi Selatan, Kota Cimahi, jarak antar sambungan memanjang sekitar 3-4 meter. Untuk sambungan memanjang harus dilengkapi dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm, yang panjang batang pengikat dihitung dengan menggunakan grafik

2.4. Perencanaan Tebal Perkerasan Pelat Beton Pracetak – Prategang

2.4.1. Pembebanan Lalu Lintas

Pada pembebanan lalu lintas ini digunakan beban lajur “D” dan “T”. Untuk perhitungan pembebanan lalu lintas dapat dirumuskan sebagai berikut:

a) Beban Lajur “D”

- Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut:

Jika $L \leq 30$ m ; $q = 9,0$ kPa

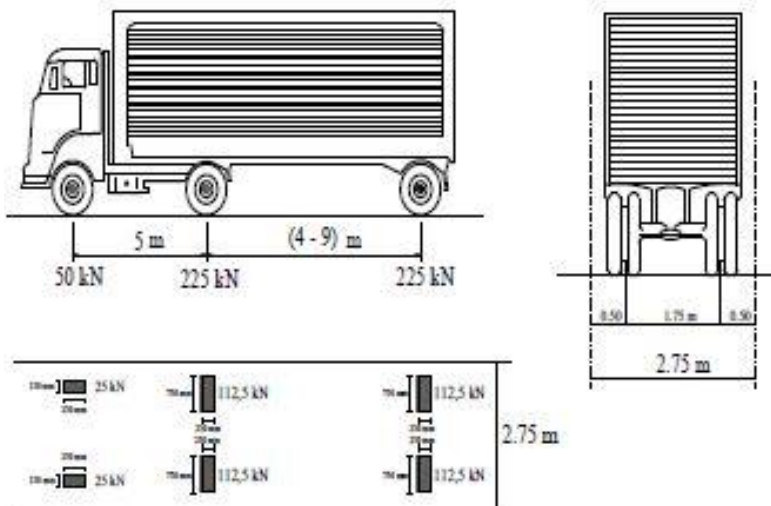
- Beban Garis Terpusat (BGT)

Beban garis terpusat dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m.

b) Beban Truk “T”

Pada beban truk ini digunakan beban kendaraan semi trailer dengan mempunyai jarak As depan = 5 m dan As belakang = 7 m dengan beban pada STRT adalah 225 kN yang ditempatkan pada

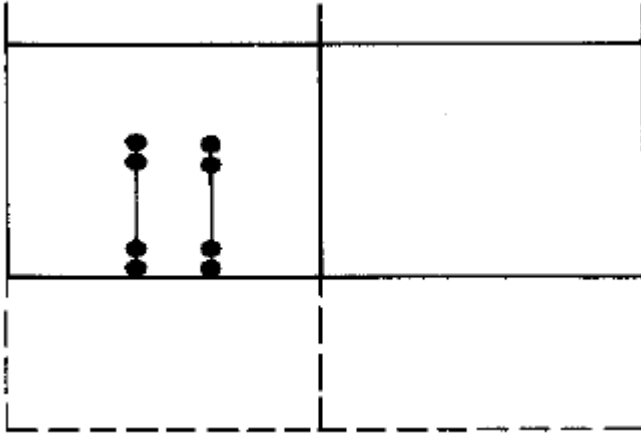
setiap lajur lalu lintas pada design pelat beton ini dan untuk konfigurasi pembebanan truk dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Pembebanan Truk "T" (500kN)

Letak Pembebanan

Tekanan paling besar terjadi ketika roda truk ditempatkan di atau dekat tepi dan tengah-tengah antara sendi, sendi karena sendi jauh dari lokasi ini, jarak sendi melintang dan jenis transfer beban sangat sedikit efek pada besarnya stres. (Portland Cement Association, 1995)



Gambar 2.14 Posisi Axle Load untuk mendapatkan lentur kritis
Sumber : (Portland Cement Association, 1995)

2.4.2. Pondasi Bawah Struktur Perkerasan Beton Pracetak Prategang

Lapisan pondasi bawah pada struktur perkerasan beton pracetak prategang adalah sebagai berikut

- a) Pondasi drainase bawah permukaan
 - Menurut (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015) tebal lapis pondasi drainase bawah permukaan bergradasi terbuka dengan tebal 100-150 mm
 - Menurut (American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993) ketebalan lapisan sub base pada umumnya menggunakan ketebalan 6 – 12 inch, tetapi paling sedikit 4 inch dan ada yang menggunakan 18 inch.
- b) Pondasi bawah beton kurus (lean concrete)

Untuk daerah yang jarang terkena hujan dan banjir dapat menggunakan beton kurus (lean concrete) sebagai pondasi bawah dan lantai kerja (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015)
- c) Lapisan polythylene

Sebelum panel dipasang, satu lembar lapisan polythylene dipasang untuk mengurangi kehilangan prestress dan tegangan tarik pada panel. Lapisan polythylene dapat mengurangi resistensi gesekan antara panel dengan lapisan leveling pendukung. (Chang, Chen, & Sangwook, 2004)

2.4.3. Perhitungan Tebal Pelat Beton Pracetak - Prategang

Dari perhitungan pelat beton konvensional yang dilakukan sesuai dengan LHR dan Umur Rencana (UR) 40 tahun. Maka perencanaan untuk tebal pelat beton pracetak - prategang minimum dapat diasumsikan. Maka untuk mendapatkan tebal pelat beton pracetak - prategang dapat menggunakan berbagai sumber berikut:

- a) 40% - 50% dari perkerasan beton semen konvensional (American Association Of State Highway And Transportation Officials, 1993)
- b) $0,65 \times$ tebal beton konvensional (2.11)
(American Concrete Institute Committee 325, 1998)
- c) 4 inch – 6 inch (Chang, Chen, & Sangwook, 2004)

2.4.4. Dimensi perkerasan beton pracetak - prategang

Dimensi pada perkerasan pracetak prategang direncanakan memiliki ukuran dengan lebar 1,8 m dan 3,6 m dengan panjang maksimum 12 m. Komisi ACI merekomendasikan agar strand dipasang dengan jarak $1/12 \times$ tebal slab di bawah garis eksentrisitas. Bila tebal slab 200 mm maka strand dapat dipasang sejauh $200/2 + 200/12 = 117$ mm dari permukaan slab. Panjang strand (7 untai kawat baja) mempunyai elongasi sekitar 0,75 m/100 m (9 in/100 ft) atau 0,75% untuk penarikan penuh 80% kuat tarik ultimit baja 270.000 psi (1850 MPa) (Dachlan, Kajian Perancangan Perkerasan Jalan Beton Prategang, 2011).

2.4.5. Aplikasi Prategang

Pada (American Concrete Institute Committee 325, 1998), beton prategang pascatarik (post-tensioning) yaitu perkerasan beton distressing setelah beton mengeras. Waktu yang kritis pada pekerjaan ini adalah pada malam pertama setelah pembetonan khususnya waktu

beton dicor pada temperatur tinggi yang akan turun pada malam hari pertama. Pada periode tersebut belum ada stressing untuk menahan retak dan susut, karena itu diperlukan perawatan beton dengan cara memberikan penutup permukaan beton dengan curing membrane yang cukup agar dapat menghambat penurunan temperatur. Penting diperhatikan bahwa beton harus segera diberikan stressing awal (initial prestress) setelah mencapai kekuatan yang cukup dengan ukuran tendon yang memadai untuk mencegah tegangan yang berlebihan saat stressing pada angker. Untuk memperoleh prategang awal yang cukup, perkerasan beton harus menggunakan beton mutu tinggi sehingga mencapai kekuatan beton (f_c') sesuai rencana pada umur 28 hari. Setelah mencapai periode curing dan angkur selesai, tendon ditarik sampai mencapai 80% kekuatan baja ultimit. Tendon harus ditarik dari kedua ujung panel. Besar gaya tendon akan bertambah karena friksi strand selama penegangan (Dachlan, Kajian Perancangan Perkerasan Jalan Beton Prategang, 2011).

2.4.6. Besaran Prategang

Besaran prategang memanjang dan melintang harus cukup besar untuk memberikan tegangan tekan yang cukup. Mempertahankan tekanan yang terjadi selama berjalannya beban banyak faktor yang harus diperhitungkan untuk memastikan bahwa tingkat prategang yang diinginkan diperoleh termasuk besarnya regangan antar slab beton dan tanah dasar, ketebalan slab beton, panjang slab dan maksimum temperature yang akan terjadi pada perkerasan. Tingkat prategang yang cukup tinggi dapat di gunakan dengan tingkat prategang minimum 100 – 300 psi arah memanjang dan 0 – 200 psi arah melintang (American Association Of State Highway And Transportastion Officials, 1993).

2.4.6.1. Tegangan Ijin Pada Beton

Tegangan ijin pada beton sesuai (Badan Standardisasi Nasional, 2013) pasal 18.3.3 dan 18.4 adalah sebagai berikut :

a. Tegangan ijin beton

Pada tegangan ijin beton ini gaya prategang awal diberikan ketika kuat tekan beton umur 14 hari sebelum adanya beban layanan dan umur 28 hari pada saat adanya beban layanan yang dapat dihitung sebagai berikut :

- Tegangan sesaat setelah penyaluran gaya prategang dan sebelum terjadinya kehilangan gaya prategang sebagai fungsi waktu, tidak boleh melampaui :

1. Tegangan tekan serat terluar $= 0,6 \times f_{ci}'$ (2.12)

2. Tegangan tarik serat terluar $= 0,5 \sqrt{f_{ci}}$ (2.13)

- Tegangan pada saat kondisi beban layan (sesudah memperhitungkan semua kehilangan gaya prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui :

1. Tegangan tekan serat terluar akibat gaya prategang, beban mati dan beban hidup tetap
 $= 0,45 \times f_{c'}$ (2.14)

2. Tegangan tekan serat terluar akibat gaya prategang, beban mati dan beban hidup total
 $= 0,60 \times f_{c'}$ (2.15)

3. Tegangan tarik serat terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekanan
 $= 0,5 \times \sqrt{f_c}$ (2.16)

2.4.6.2. Tegangan Ijin Pada Baja Prategang

Tegangan ijin pada baja prategang sesuai (Badan Standardisasi Nasional, 2013) pasal 18.5 tidak boleh melebihi nilai-nilai sebagai berikut :

1. Akibat gaya pendongkrak yang bekerja pada kabel:

$$0,80 f_{pu} \quad \text{atau} \quad (2.17)$$

$$0,94 f_{py} \quad (2.18)$$

Dimana :

f_{pu} = Kekuatan Tarik batas yang di jamin untuk baja prategang

f_{py} = Tegangan pada perpanjangan (elongation) 1% baja prategang

mana yang lebih kecil tetapi tidak lebih besar dari nilai maksimum yang diusulkan oleh pembuat kabel prategang atau angkur

2. Tendon pratarik segera setelah peralihan gaya prategang atau tendon-tendon pasca tarik setelah penjangkaran/pengankuran:

$$0,70 f_{pu} \quad (2.19)$$

Dimana :

f_{pu} = Kekuatan Tarik batas yang di jamin untuk baja prategang

2.4.6.3. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain (Lins & Burns, 2000).

1. Kehilangan langsung (Immedietly Loss), yaitu kehilangan gaya prategang yang terjadi setelah peralihan gaya prategang yang meliputi :
 - a. Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastic (ES)
 Pada struktur yang menggunakan kabel tunggal tidak mengalami kehilangan gaya prategang akibat dari perpendekan beton, karen gaya pada kabel diukur setelah perpendekan tersebut terjadi. Jika pada penampang yang memakai lebih dari satu kabel maka kehilangan gaya prategang dapat ditentukan oleh kabel yang pertama ditarik dan memakai harga setengahnya untuk mendapatkan rata – rata kabel. Kehilangan gaya pada struktur pasca tarik didapat dengan rumus (2.20) sebagai berikut :

$$ES = \Delta f_{cir} = n \cdot \pi / A_c \quad (2.20)$$

Dimana :

ES = kehilangan gaya prategang

f_{cir} = tegangan pada penampang beton

π = gaya prategang awal

A_c = luas penampang beton

$$n = E_s/E_c$$

E_s = modulus elastisitas tendon prategang

E_c = modulus elastisitas beton

b. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan kabel tendon (P_s)

Pada struktur beton prategang dengan tendon yang dipasang melengkung ada gesekan antara sistem penarik (Jacking) dan ankur, sehingga tegangan yang ada pada tendon atau kabel prategang akan lebih kecil dari pada bacaan pada alat baca tegangan (pressure gauge). Kehilangan prategang akibat gesekan pada tendon akan sangat dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong (wobble) kabel prategang dan kelengkungan tendon/kabel prategang, maka dari itu digunakan koefisien wobble (K) dan koefisien gesekan (μ). Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada tendon pasca tarik (post-tension) dihitung dengan rumus (2.21) sebagai berikut :

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -KL - \mu\alpha \quad (2.21)$$

Dimana :

F_1 = Gaya prategang dititik 1

F_2 = Gaya prategang dititik 2

L = Panjang kabel prategang dari titik 1 ke titik 2

K = Koefisien wobble

μ = Koefisien gesekan

α = Sudut pada tendon

Tabel 2.27 Nilai Koefisien Wobble dan koefisien kelengkungan

Tipe Tendon	K tiap meter	μ
Tendon dengan selubung logam flexible		
tendon kawat	0,0033-0,0049	0,15-0,25
Strand dengan untaian 7 kawat	0,0016-0,0066	0,15-0,25

baja mutu tinggi	0,0003-0,002	0,083-0,3
Tendon pada selubung logam kaku		
Strand dengan untaian 7 kawat	0,0007	0,15-0,25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu		
tendon kawat / strand dengan untaian 7 kawat	0,001-0,0066	0,05-0,15
Tendon yang diberi lapisan mastic		
tendon kawat / strand dengan untaian 7 kawat	0,0033-0,0066	0,05-0,15

Sumber : (Lins & Burns, 2000)

c. Kehilangan gaya prategang akibat slip ankur (ANC)

Kehilangan gaya prategang ini terjadi saat baja/kabel dilepas dari mesin penarik kemudian kabel ditahan oleh baji dipengangkuran dan gaya prategang ditransfer dari mesin penarik ke ankur. Besarnya slip pada pengangkuran tergantung pada tipe baji dan tegangan pada kabel prategang (tendon). Harga rata – rata panjang slip akibat pengangkuran adalah 2,5 mm. Untuk menentukan kehilangan tegangan akibat slip ankur dapat digunakan persamaan (2.22), (2.23) sebagai berikut :

$$\Delta L = f_c / E_s \times L \quad (2.22)$$

$$ANC = \frac{S_{rata-rata}}{\Delta L} \times 100 \% ANC \quad (2.23)$$

Dimana :

ANC = kehilangan gaya prategang akibat slip ankur
 ΔL = deformasi pengangkuran
 F_c = tegangan pada beton

- Es = modulus elastisitas baja/kabel prategang
 L = panjang total kabel
 Srata-rata = harga rata-rata slip angkur biasanya 2,5 mm

3. Kehilangan tak langsung (Time Dependent Loss)

yaitu kehilangan gaya prategang yang bergantung pada fungsi waktuyang meliputi :

a. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak beton (CR)

Kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh rangkak (creep) dari beton merupakan salah satu kehilangan gaya prategang tergantung pada fungsi waktu yang diakibatkan oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian. Rumus yang digunakan untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat rangkak adalah rumus (2.24) sebagai berikut :

$$CR = Kcr \times \frac{ES}{EC} \times (fcir - fc ds) \quad (2.24)$$

Dimana :

Kcr = 2,0 untuk struktur pratarik dan 1,6 untuk struktur pasca tarik (post-tension)

fc ds = tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

fcir = tegangan beton akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang diberikan

Ec = modulus elastisitas beton

Es = modulus elastisitas tendon prategang

b. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton (shrinkage)(SH)

Kehilangan gaya prategang akibat susut dapat dipengaruhi dari beberapa faktor yaitu rasio antara volume beton dan luas permukaan beton, kelembaban relative waktu antara akhir pengecoran dan pemberian gaya prategang. Pada sistem pascatarik, kehilangan prategang akibat susut lebih kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum pemberian tegangan.

Besarnya kehilangan gaya prategang akibat susut dapat dihitung dengan rumus (2.25) sebagai berikut:

$$SH = 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot Ksh \times ES \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) \times (100 - RH) \quad (2.25)$$

Dimana :

Ksh = koefisien faktor susut (lihat Tabel 2.13)

V = volume beton

S = luas selimut yang berhubungan dengan udara

RH = kelembaban udara

Es = modulus elastisitas tendon prategang

Tabel 2.28 Nilai Koefisien Faktor Susut

Waktu setelah perawatan s/d penerapan prategang (hari)	1	2	3	5	7	10	20	30	60
Ksh	0,92		0,85	0,8	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

Sumber : (Lins & Burns, 2000)

c. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja (RE)

Relaksasi baja prategang terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap dalam satu periode yang mengalami pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang akan tergantung pada lamanya waktu berjalan dan rasio antara rategang awal dan akhir. Oleh karena itu, ACI memberikan perumusan untuk menghitung kehilangan gaya prategang dimana nilai dari Kre, J dan C tergantung dari jenis dan tipe tendon, dimana untuk strand atau kawat stress dipakai adalah relieced derajat 1.745 MPa. Rumus yang dipakai adalah rumus (2.26) sebagai berikut :

$$RE = [Kre - J \times (SH + CR + ES)] \times C \quad (2.26)$$

Dimana :

Kre = koefisien relaksasi (lihat Tabel 2.29)

J = faktor waktu (lihat Tabel 2.29)

- C = faktor relaksasi (lihat Tabel 2.30)
 SH = kehilangan tegangan akibat susut
 CR = kehilangan tegangan akibat rangkai
 ES = kehilangan tegang akibat perpendekan elastic

Tabel 2.29 Nilai Kre dan J

Tipe Tendon	Kre	J
Strand/kawat stress relieved derajat 1860 Mpa	138	0,15
Strand/kawat stress relieved derajat 1720 Mpa	128	0,14
kawat stress relieved derajat 1655 Mpa atau 1620 Mpa	121	0,13
Strand relaksasi rendah derajat 1860 Mpa	35	0,04
Strand relaksasi rendah derajat 1720 Mpa	32	0,037
Kawat relaksasi rendah derajat 1655 Mpa atau 1620 Mpa	30	0,035
Batang stress relieved derajat 1000 Mpa ata 1100 Mpa	41	0,05

Sumber : (Lins & Burns, 2000)

Tabel 2.30 Nilai C

Fpi/fpu	Strand/kawat stres relieved	Batang stress relieved atau strand/kawat relaksasi rendah
0,80	-	1,28
0,79	-	1,22
0,78	-	1,16
0,77	-	1,11
0,76	-	1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75

0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,65	0,78	0,57
0,64	0,73	0,53
0,63	0,68	0,49
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

Sumber : (Lins & Burns, 2000)

2.4.7. Perhitungan Kait Pengangkat (Lifting Point)

Seluruh panel harus dilengkapi kait pengangkat (lifting point) sesuai dengan keperluan. Kait pengangkat tidak diizinkan menggunakan sambungan dengan pengelasan. Pada kait pengangkat ini dapat dihitung dengan pertimbangan sebagai berikut:

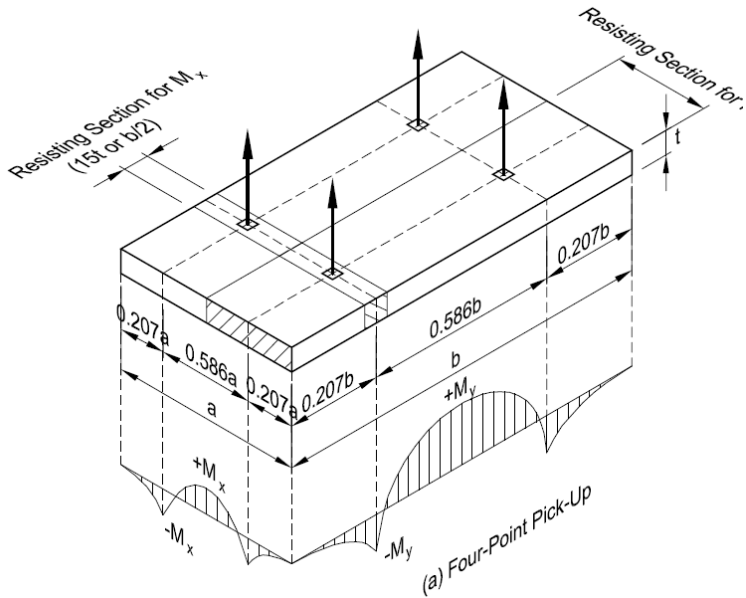
2.4.7.1. Kontrol Kapasitas Momen Akibat Pengangkatan

Pengangkatan pelat panel beton pada pemasangan di lapangan atau pun pengangkutan ke lokasi akan menimbulkan momen pada panel tersebut. Besarnya momen tersebut ditetapkan oleh (PCI Design HandBook 6th EditionI , 2004) dengan rumusan (2.30) dan (2.31) sebagai berikut :

$$-M_x = +M_x = 0.0107 \cdot w \cdot a^2 \cdot b \quad (2.30)$$

$$-M_y = +M_y = 0.0107 \cdot w \cdot a \cdot b^2 \quad (2.31)$$

Kuat momen pelat pada saat pengangkutan harus memenuhi persyaratan $\phi M_n \geq M_u$. Untuk penentuan diagram Momen dapat dilihat pada Gambar 2.15 dibawah ini.



Gambar 2.15 Diagram Momen Saat Pengangkatan Pelat Pracetak Dengan Empat Titik Point Angkat

Sumber : (PCI Design HandBook 6th EditionI , 2004)

2.4.7.2. Perencanaan Tulangan Angkat

Sebagai akibat dari pengangkatan pelat pracetak maka untuk itu diperlukan perencanaan tulangan untuk kait pengangkat. Sehingga, pelat pracetak dapat diangkat dengan aman oleh alat pengangkat (crane) pada saat instalasi pelat pracetak. Maka perencanaan tulangan bisa dihitung dengan rumus (2.32), (2.33), (2.34), (2.35), (2.36), sebagai berikut :

$$W = h \cdot \text{lebar} \cdot \text{panjang} \cdot \text{berat jenis beton} \quad (2.32)$$

$$T = 1.4 W \cdot \text{koef. Kejut} \quad (2.33)$$

- Beban Tiap Titik Angkat

$$T_u = \frac{T}{N} \text{ Tulangan} \quad (2.34)$$

- Tegangan ijin tulangan

$$f_{ijin} = \frac{f_y}{1,5} \quad (2.35)$$

- Diameter yang diperlukan

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4T_u}{\pi} f_{ijin}} \quad (2.36)$$

2.4.7.3. Kontrol Retak Akibat Pengangkatan

Pada saat pengangkatan pelat pracetak akan menimbulkan tegangan pada pelat yang mengakibatkan retak pada beton. Sehingga untuk mencegah retak yang terjadi ketika pengangkatan maka tegangan yang terjadi akan diperiksa agar tidak melebihi tegangan ijin (f_r). Dengan rumus (2.29), (2.30), (2.31), (2.32), (2.33), (2.34), (2.35), (2.36), dan (2.37). sebagai berikut:

$$f'_c = \text{factual} \quad (2.37)$$

- Kuat tekan beton saat pengangkatan

$$f'_{ci} = 0,4 f'_c \quad (2.38)$$

$$f_r = 0,62 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_{ci}} \quad (2.39)$$

$$y_c = \frac{h}{2} \quad (2.40)$$

- Kontrol retak

$$Z = \frac{1}{6} b e_{ff} \cdot h^2 \quad (2.41)$$

$$\alpha_x = \arctg \cdot \frac{h \text{ strand}}{60,5 b} \quad (2.42)$$

$$M_x = \frac{p_x y_c}{t g x \propto x} \quad (2.43)$$

- Kontrol tegangan pada penampang

$$f_{rijin} = \frac{f_r}{s_f} \quad (2.44)$$

$$f_t = f_b = \frac{M}{Z} \quad (2.45)$$

2.4.8. Perhitungan Baja Tulangan Pada Jenis CRCP

a. Tulangan Memanjang

Tulangan memanjang yang dibutuhkan pada CRCP dihitung dari persamaan (2.28) berikut :

$$P_s = \frac{100 \times f_{ct} \times (1,2 - 0,2\mu)}{f_y - n \times f_{ct}} \quad (2.28)$$

Keterangan:

P_s : persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)

f_{ct} : kuat tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{cf})$ (kg/cm²)

f_y : tegangan leleh rencana baja (kg/cm²)

n : angka ekuivalensi antara baja dan beton (E_s/E_c), atau dihitung dengan rumus.

μ : koefisien gesekan antara pelat beton dan lapisan di bawahnya.

E_s : modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

E_c : modulus elastisitas beton = $1485 \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)

Persentase minimum dari tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0,6% luas penampang beton. Jumlah optimum tulangan memanjang, perlu dipasang agar jarak dan lebar retakan dapat dikendalikan. Secara teoritis jarak antara retakan pada perkerasan beton menerus dan tulangan dihitung dari persamaan (2.28) berikut :

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \times p^2 \times u \times f_b (E_s \times E_c - f_{ct})} \quad (2.28)$$

Keterangan:

L_{cr} : jarak teoritis antar retakan (cm).

p : perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton.

u : perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$.

d : diameter baja tulangan (mm)

f_b : tegangan lekat antara tulangan dan beton = $(1,97 \sqrt{f'_c})/d$.
(kg/cm²)

ϵ_s : koefisien susut beton = (400.10^{-6}) .

f_{ct} : kuat tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{cf})$ (kg/cm²)

n : angka ekuivalensi antara baja dan beton = (E_s/E_c) . Tabel 2

E_c : modulus Elastisitas beton = $14850 \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)

E_s : modulus Elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

Untuk menjamin agar retakan-retakan yang terjadi halus dan jarak antar retakan optimum, maka persentase tulangan dan perbandingan antara keliling dan luas tulangan harus besar, dan perlu menggunakan tulangan ulir (deformed bars) untuk memperoleh tegangan lekat yang lebih tinggi. Jarak retakan teoritis dihitung dengan persamaan (2) harus antara 150 cm dan 250 cm. Jarak baja tulangan antara 100 mm dan 225 mm. Diameter batang tulangan antara 12 mm dan 20 mm

2.4.9. Perencanaan Sambungan

A. Sambungan Mekanis (Mechanical Connection)

Berdasarkan tinjauan peraturan SNI-03-2847-2013 pasal 12.14.(3.(1),(2),(5))

1. Sambungan mekanis dan sambungan las boleh digunakan.
2. Suatu sambungan mekanis penuh harus mampu mengembangkan kuat tarik atau tekannya sesuai dengan yang diperlukan, paling tidak sebesar 125 % kuat leleh batang yang disambung.
5. Sambungan mekanis dan sambungan las yang tidak memenuhi ketentuan 12.14.(3(2)) atau 12.14.(3(4)) hanya diperbolehkan untuk batang D16 atau yang lebih kecil dan harus sesuai dengan ketentuan 12.15(5).

Sambungan mekanis (*mechanical connections*) menurut ACI 439.3R-91 terbagi dalam 3 kategori dasar yaitu:

1). *Compression only Mechanical Connections*,

Compression only Mechanical Connections memiliki mekanisme pemindahan tegangan tekan dari ujung tulangan satu ke ujung tulangan lainnya yang berada dalam satu garis sumbu (konsentris). Ada beberapa jenis tipe *Compression only Mechanical Connections* antara lain: *Solid-Type Steel Coupling Sleeve*, *Strap-Type Steel Coupling Sleeve*, *Steel-Filled Coupling Sleeve*, dan *Wedge-Locking Coupling Sleeve*. *Tension only Mechanical Connection* digunakan dalam kondisi dimana tulangan hanya mengalami tegangan tarik seperti tulangan lentur, tulangan muai-susut

2). *Tension only Mechanical Connections*

Jenis tipe *Tension only Mechanical Connections* antara lain: *Steel Coupling Sleeve with Wedged Bar Splice Double Barrel*. Sambungan tipe ini dapat mengembangkan 125% dari tegangan leleh dari baja tulangan yang disambung, dapat digunakan untuk menyambung diameter baja tulangan yang berbeda.

3). *Tension Compression Mechanical Connections*.

Sedangkan *Tension Compression Mechanical Connections* memiliki fungsi gabungan tekan dan tarik. Adapun jenis sambungan ini antara lain: *Cold-Swaged Steel Coupling Sleeved* dan *Taper-Threaded Steel Coupler*.

2.5. Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan biaya merupakan suatu cara dan proses perhitungan untuk mendapatkan jumlah nilai atau besarnya kebutuhan biaya yang digunakan dalam mendirikan suatu konstruksi bangunan tertentu.

- Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan merupakan jumlah pekerjaan dalam suatu satuan. Untuk menghitung volume pekerjaan dapat hitung dengan melihat pada gambar design baik long section ataupun cross section.

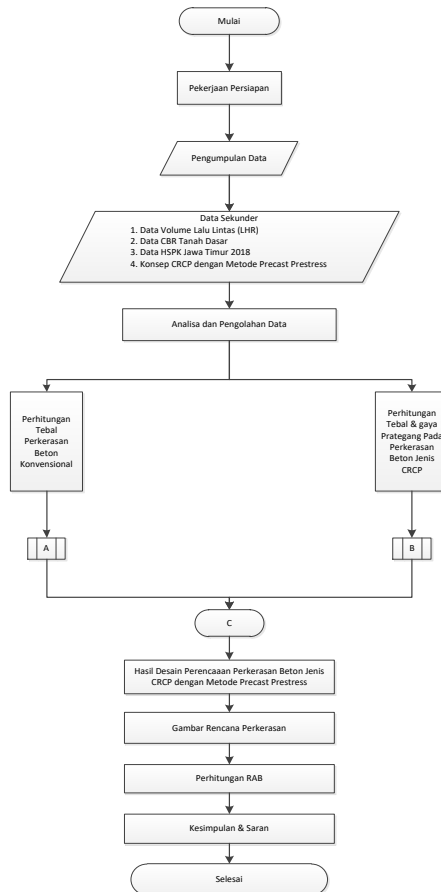
- Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan merupakan hasil dari perhitungan bagian penunjang dari suatu pekerjaan antara lain bahan, peralatan, upah, tenaga kerja dan sebagainya yang dikalikan dengan koefisien pekerjaan.

BAB 3

METODOLOGI

Dalam bab ini akan ditulis langkah – langkah yang dipakai pada penyusunan Laporan Perencanaan Ulang Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pevement) Jenis CRCP Dengan Metode Precast Prestress Di Jalan Tol Solo - Ngawi ini adalah sebagai berikut :



Bagan 3.1 Metodologi



Bagan 3.2 Detail A



Bagan 3.3 Detail B

3.1 Pekerjaan Persiapan

- a) Mencari informasi untuk data – data yang dibutuhkan pada instansi terkait.
- b) Mengurus surat pengantar dari Kaprodi Jurusan ke Instansi terkait dalam penyampaian permintaan data.
- c) Mengumpulkan data dan mempelajari dalam segala bentuk yang berkaitan dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir.

3.2 Pengumpulan Data

Data Sekunder

- Data CBR Tanah Dasar (PT.Solo Ngawi Jaya)
- Data Lalu Lintas (LHR) (PT.Solo Ngawi Jaya)
- Konsep CRCP (Continuously Reinforced Concrete Pavement) dengan Metode Precast Prestress (Ir. Luthfi Faisal)

3.3 Analisa Dan Pengolahan Data

- a) Analisa data lalu lintas

Data lalu lintas yang berupa LHR dianalisa untuk mendapatkan tingkat pertumbuhan tingkat pertumbuhan kendaraan baik pertumbuhan rata – rata maupun pertumbuhan tiap jenis kendaraan sampai dengan akhir umur rencana. Dengan angka pertumbuhan kendaraan didapatkan data kapasitas kendaraan yang diperlukan untuk merencanakan pelebaran jalan. Sedangkan untuk perkerasan jalan diperlukan data – data beban kendaraan, yaitu : beban yang berkaitan dengan beban sumbu kendaraan, volume lalu lintas, pertumbuhan lalu lintas dan konfigurasi roda.

- b) Analisa data CBR tanah dasar

Analisa tanah dasar dilakukan untuk mengetahui besarnya daya dukung tanah dasar karena mutu dan daya tahan suatu konstruksi perkerasan tidak lepas dari sifat tanah dasar. Analisa data CBR ini diperlukan data CBR dari

beberapa rencananya. Dengan CBR rencana tersebut akan didapatkan daya dukung tanah dasar yang dinyatakan dengan modulus reaksi tanah dasar.

3.4 Perencanaan Struktur Perkerasan Beton Prategang

- a) Struktur dan jenis perkerasan
- b) Penentuan besar rencana
- c) Perencanaan tebal plat
- d) Perencanaan tulangan dan baja prategang
- e) Teknik penyambungan dan penulangan

3.5 Gambar Rencana

Gambar perencanaan tebal perkerasan jalan dan penampang melintang

3.6 Perhitungan RAB

Pada Tahap ini berupa perhitungan biaya per km pada sistem CRCP dan dibandingkan dengan biaya per km pada sistem PPCP

3.7 Kesimpulan Dan Saran

Pada bagian ini berisi mengenai kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil perencanaan teknis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

DATA DAN ANALISA PERHITUNGAN

4.1 Data Sekunder

4.1.1 Data Lalu Lintas

Dari data lalu lintas hasil dari jalan Solo- Ngawi, diolah menjadi data lalu lintas harian dan diperkirakan menjadi beban bagi jalan tol yang direncanakan

Berikutnya diperlukan tingkat pertumbuhan lalu lintas yang akan digunakan untuk peramalan jumlah lalu lintas pada akhir masa umur rencana. Tingkat pertumbuhan lalu lintas ini diasumsikan sama dengan tingkat pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi di wilayah Jawa Timur.

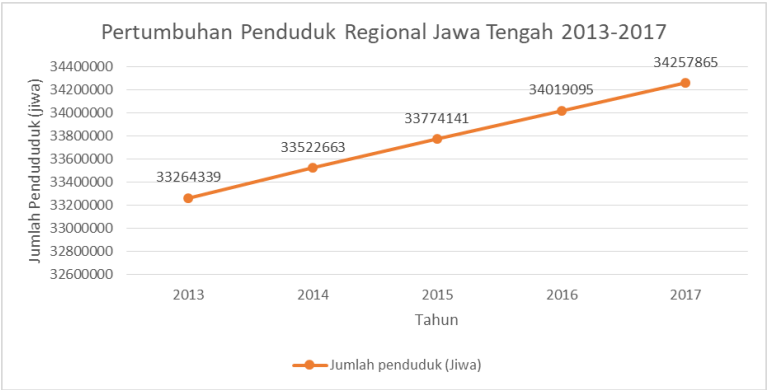
- a) Pertumbuhan jumlah penduduk menggambarkan pertumbuhan lalu lintas angkutan umum
- b) Pertumbuhan produk domestik regional bruto daerah menggambarkan laju pertumbuhan kendaraan niaga
- c) Pertumbuhan produk domestik regional bruto per kapita menunjukan laju pertumbuhan kendaraan pribadi.

Berikut ini adalah data mengenai jumlah penduduk dan pertumbuhan produk domestik regional bruto Jawa Tengah dari situs BPS Jawa Tengah

Tabel 4.1 Pertumbuhan Penduduk Jawa Tengah 2013 -2017

Tahun	Jumlah penduduk (Jiwa)
2013	33264339
2014	33522663
2015	33774141
2016	34019095
2017	34257865

Sumber : (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah, 2018)

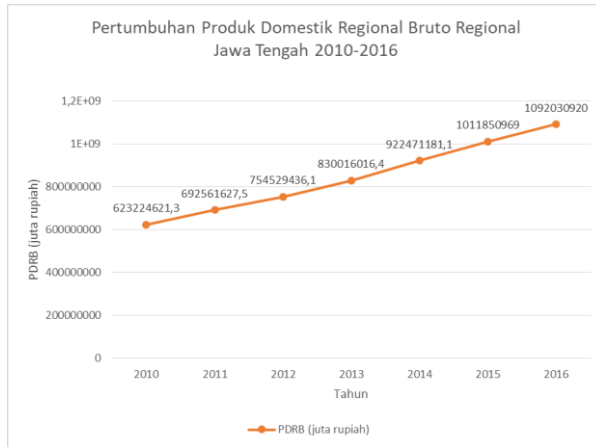


Grafik 4.1 Pertumbuhan Penduduk Jawa Tengah 2013 – 2017
Sumber : (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah, 2018)

Tabel 4.2 Pertumbuhan PDRB Jawa tengah 2010 - 2016

Tahun	PDRB (juta rupiah)
2010	623224621,3
2011	692561627,5
2012	754529436,1
2013	830016016,4
2014	922471181,1
2015	1011850969
2016	1092030920

Sumber : (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah, 2018)



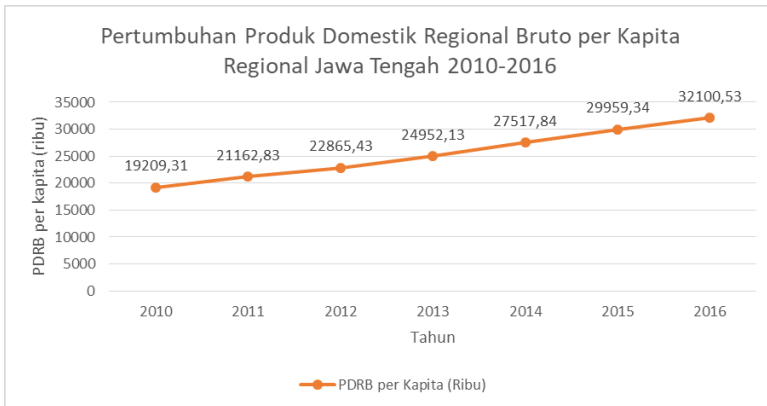
Grafik 4.2 Pertumbuhan PDRB per Kapita Jawa tengah 2010–2016
Sumber : (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah, 2018)

Tabel 4.3 Pertumbuhan PDRB per Kapita Jawa Tengah 2010 - 2016

Tahun	PDRB per Kapita (Ribu)
2010	19209,31
2011	21162,83
2012	22865,43
2013	24952,13
2014	27517,84
2015	29959,34
2016	32100,53

Sumber : (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah, 2018)

Tabel 4.4 Pertumbuhan PDRB per Kapita Jawa Timur 2010 - 2016



Sumber : (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah, 2018)

Dalam perencanaan jalan ini direncanakan umur rencana jalan 40 tahun. Berikut ini adalah data lalu lintas pada jalan Solo – Ngawi.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata

No	Jenis Kendaraan		Konfigurasi Sumbu dan Type	LHR 2018	
				Kartasuro - Solo	Solo - Kertosono
				Jumlah Kendaraan	Jumlah Kendaraan
1	Gol I (Sedan, Minibus, Pick Up, Jeep, Microbus, Bus Kecil, Bus Besar)	Sedan, Jeep, Station dan Taxi (pribadi)	1,1	2591	2591
		Opelet, Pick up, Suburban, Combi, Minibus (MPU dan Angkot)	1,1	86	86
		Pick Up, Micro Truk, Mobil Hantaran	1,1	183	183
		Bus Kecil	1,2	39	39
		Bus Besar	1,2	114	114
2	Gol II (Truk dengan 2 gandar)	Truk 2 Sumbu Ringan	1,1	246	246
		Truk 2 Sumbu Sedang	1.2 L	852	852
		Truk 2 Sumbu Berat	1.2 H	322	322
3	Gol III (Truk dengan 3 gandar)	Truk 3 Sumbu Sedang	1-2.2	347	347
		Truk 3 Sumbu Berat	1.2-2	20	20
4	Gol IV (Truk dengan 4 gandar)	Truk 2 sumbu dan Trailer Penarik 2 sumbu	1.2-2.2	32	32
		Truk 4 Sumbu Trailer	1.2-22	66	66
5	Gol V (Truk dengan 5 gandar atau lebih)	Truk 5 Sumbu Trailer	1.22-22	6	6
		Truk 5 Sumbu Trailer	1.2-222	19	19
		Truk 6 Sumbu Trailer	1.22-222	8	8

4.1.2 Data Tanah

4.2 Perencanaan Perkerasan Kaku Konvensional

4.2.1 Metode Manual Desain Perkerasan 2016

4.2.1.1 Analisa Data Lalu Lintas

Dari data lalu lintas di atas, masing-masing kendaraan akan diproyeksikan dengan tingkat pertumbuhan penduduk, pertumbuhan produk domestik regional bruto dan pertumbuhan produk domestik regional bruto per kapita Jawa Tengah. Tingkat pertumbuhan dihitung dari data tiap tahun yang dirata-rata.

Tabel 4.6 Tingkat Pertumbuhan Penduduk

Tahun	Jumlah penduduk (Jiwa)	Δ	i	i rata-rata (%)
2013	33264339	-	-	1,01
2014	33522663	258324	1,01	
2015	33774141	251478	1,01	
2016	34019095	244954	1,01	
2017	34257865	238770	1,01	

Tabel 4.7 Tabel Pertumbuhan PDRB

Tahun	PDRB (juta rupiah)	Δ	i	i rata-rata (%)
2010	623224621,3	-	-	1,10
2011	692561627,5	69337006,12	1,11	
2012	754529436,1	61967808,6	1,09	
2013	830016016,4	75486580,38	1,10	
2014	922471181,1	92455164,67	1,11	
2015	1011850969	89379787,74	1,10	
2016	1092030920	80179951,44	1,08	

Tabel 4.8 Tabel Pertumbuhan PDRB per Kapita

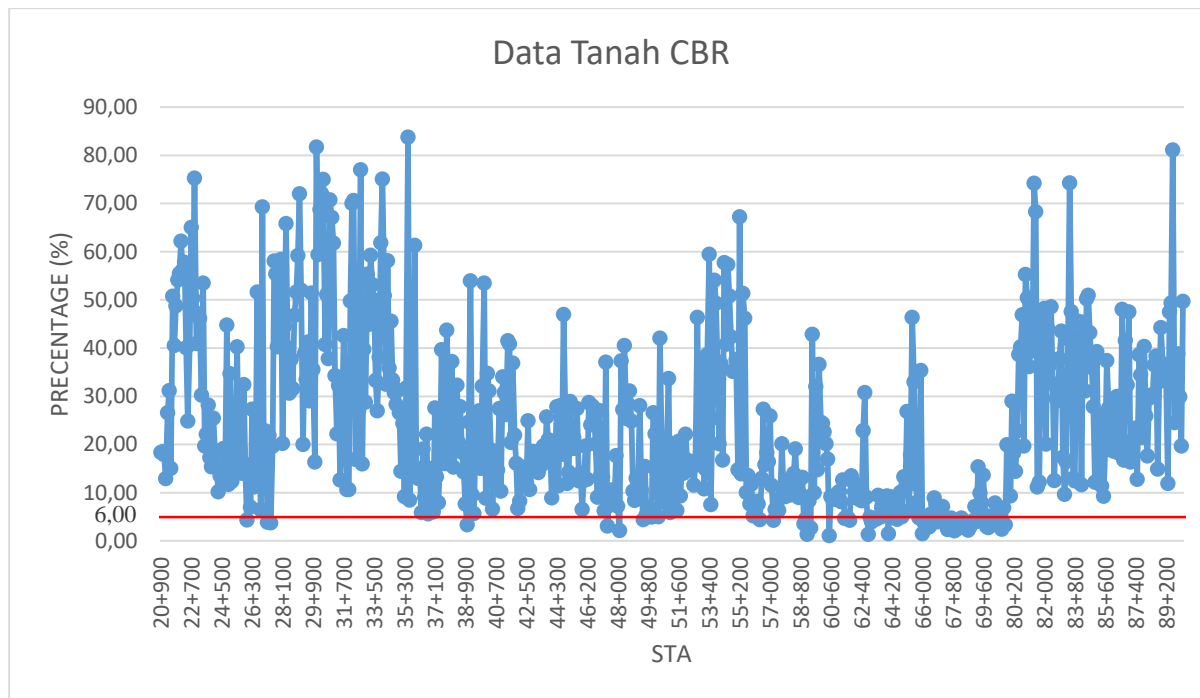
Tahun	PDRB per Kapita (Ribu)	Δ	i	i rata-rata (%)
2010	19209,31	-	-	1,09
2011	21162,83	1953,52	1,10	
2012	22865,43	1702,6	1,08	
2013	24952,13	2086,7	1,09	
2014	27517,84	2565,71	1,10	
2015	29959,34	2441,5	1,09	
2016	32100,53	2141,19	1,07	

Dari perhitungan diatas didapatkan hasil yaitu :

- Pertumbuhan jumlah penduduk menggambarkan nilai angka pertumbuhan lalu lintas angkutan umum (i) sebesar 1,01%
- Pertumbuhan produk domestik regional bruto daerah menggambarkan nilai pertumbuhan lalu lintas kendaraan niaga (i) sebesar 1,10%
- Pertumbuhan produk domestik regional bruto per kapita menunjukan nilai pertumbuhan lalu lintas kendaraan pribadi (i) sebesar 1,09%

4.2.1.2 Analisa Data Tanah

Pada perencanaan ulang jalan TOL Solo-Ngawi untuk perhitungan tebal pelat beton CBR yang digunakan adalah CBR tanah dasar yaitu dengan CBR rencana minimal 6%. Dari data yang ditinjau per 100 m dari panjang jalan total sepanjang 90 km terdapat 60 data tanah CBR di bawah 6%. Data tersebut dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Grafik 4.3 Data Tanah CBR

Berdasarkan data-data tanah CBR diatas, terdapat nilai CBR dibawah nilai CBR rencana, didapatkan nilai CBR dibawah CBR rencana dengan rata rata nilai CBR sebesar 4,04 %. Maka perlu adanya peningkatan tebal tanah dasar pada sta tertentu. selanjutnya hasil perhitungan diplotkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Desain Pondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur Desain Pondasi	Deskripsi Struktur Pondasi Jalan	Lalu lintas lajur desain umur rencana 40 tahun (juta CESA ₂)		
				< 2	2 - 4	> 4
				Tebal minimum peningkatan tanah dasar		
≥ 6	SG6	A	Perbaikan tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤200 mm tebal lepas)	Tidak perlu peningkatan		
5	SG5					
4	SG4					
3	SG3			100	150	200
2,5	SG2,5			150	200	300
Tanah ekspansif (potential swell > 5 %)		AE		175	250	350
Perkerasan lentur diatas tanah lunak ⁴	SG1 aluvial ¹	B	Lapis Penopang (capping layer)(2)(4)	400	500	600
			Atau lapis penopang dan geogrid (2)(4)	1000	1100	1200
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan Burda untuk Jalanan kecil (nilai minimum - peraturan lain digunakan)		D		650	750	850
			Lapis penopang berbutir (2)(4)	1000	1250	1500

Sumber : (Bina Marga, 2016)

Perbaikan tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤ 200 mm tebal lepas). Namun belum didapatkan tebal minimum peningkatan tanah dasar pasti nya. Karna belum didapatkan nilai CESA₅. Hasil perhitungan CESA₅ terdapat pada Tabel 4.1.2

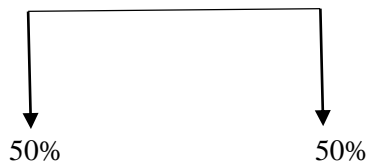
4.2.1.3 Analisa Data Muatan Maksimum Kendaraan

Konfigurasi Sumbu Beban

- a) Sedan, jeep, station dan taxi (pribadi)

Muatan maksimum = 2000 kg = 2 ton

Total 2 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



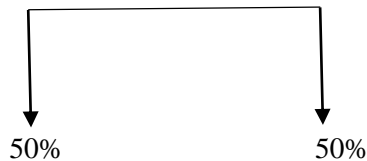
$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu depan (STRT)} &= 50\% \times 2 \text{ ton} \\ &= 1 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu belakang (STRT)} &= 50\% \times 2 \text{ ton} \\ &= 1 \text{ ton}\end{aligned}$$

- b) Opelet, Pick up, Suburban, Combi, Minibus (MPU dan Angkot

$$\text{Muatan maksimum} = 2000 \text{ kg} = 2 \text{ ton}$$

Total 2 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



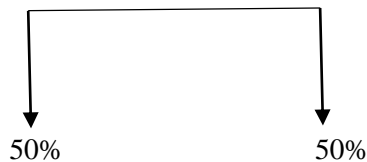
$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu depan (STRT)} &= 50\% \times 2 \text{ ton} \\ &= 1 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu belakang (STRT)} &= 50\% \times 2 \text{ ton} \\ &= 1 \text{ ton}\end{aligned}$$

- c) Pick Up, Micro Truk, Mobil Hantaran

$$\text{Muatan maksimum} = 2000 \text{ kg} = 2 \text{ ton}$$

Total 2 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



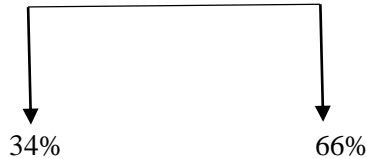
$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu depan (STRT)} &= 50\% \times 2 \text{ ton} \\ &= 1 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu belakang (STRT)} &= 50\% \times 2 \text{ ton} \\ &= 1 \text{ ton}\end{aligned}$$

d) Bus Kecil

Muatan maksimum = 5000 kg = 5 ton

Total 5 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



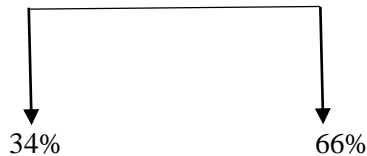
$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu depan (STRT)} &= 34\% \times 5 \text{ ton} \\ &= 1,7 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu belakang (STRG)} &= 66\% \times 5 \text{ ton} \\ &= 3,3 \text{ ton}\end{aligned}$$

e) Bus Besar

Muatan maksimum = 9000 kg = 9 ton

Total 9 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



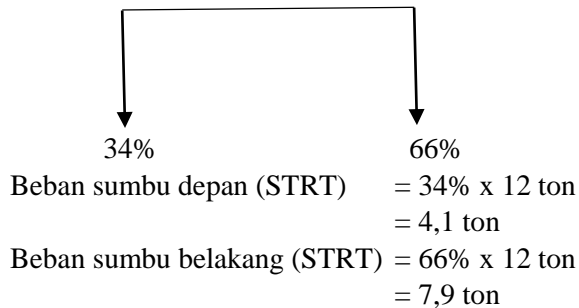
$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu depan (STRT)} &= 34\% \times 9 \text{ ton} \\ &= 3,1 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban sumbu belakang (STRG)} &= 66\% \times 9 \text{ ton} \\ &= 5,9 \text{ ton}\end{aligned}$$

f) Truk 2 Sumbu Ringan

Muatan maksimum = 12000 kg = 12 ton

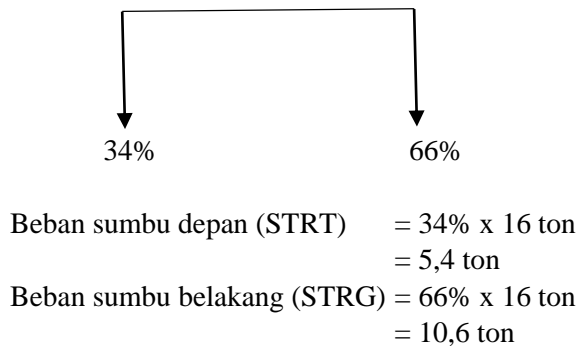
Total 12 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



- g) Truk 2 Sumbu Sedang

Muatan maksimum = 16000 kg = 16 ton

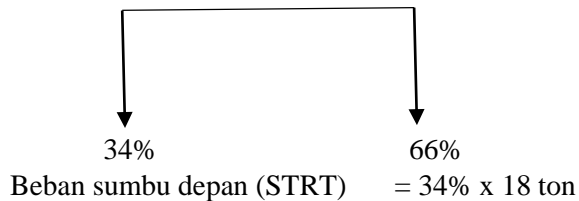
Total 16 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



- ### h) Truk 2 Sumbu Berat

Muatan maksimum = 18200 kg = 18,2 ton

Total 18 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



$$= 6,2 \text{ ton}$$

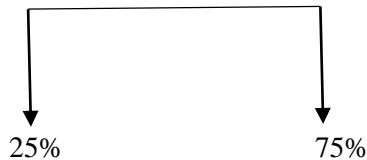
Beban sumbu belakang (STRG) = $66\% \times 18 \text{ ton}$

$$= 12 \text{ ton}$$

i) Truk 3 Sumbu Sedang

Muatan maksimum = $25000 \text{ kg} = 25 \text{ ton}$

Total 25 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



Beban sumbu depan (STRT) = $25\% \times 25 \text{ ton}$

$$= 6,25 \text{ ton}$$

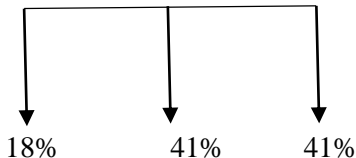
Beban sumbu belakang (STdRG) = $75\% \times 25 \text{ ton}$

$$= 18,75 \text{ ton}$$

j) Truk 3 Sumbu Berat

Muatan maksimum = $26200 \text{ kg} = 26,2 \text{ ton}$

Total 26,2 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



Beban sumbu depan (STRT) = $18\% \times 26,2 \text{ ton}$

$$= 4,7 \text{ ton}$$

Beban sumbu belakang (STRG) = $41\% \times 26,2 \text{ ton}$

$$= 10,7 \text{ ton}$$

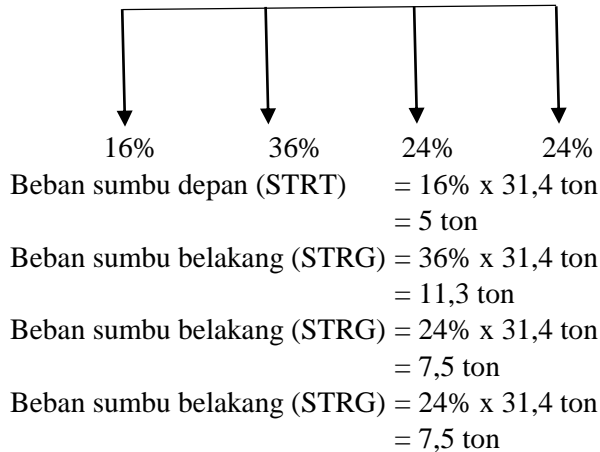
Beban sumbu belakang (STRG) = $41\% \times 26,2 \text{ ton}$

$$= 10,7 \text{ ton}$$

k) Truk 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu

Muatan maksimum = $31400 \text{ kg} = 31,4 \text{ ton}$

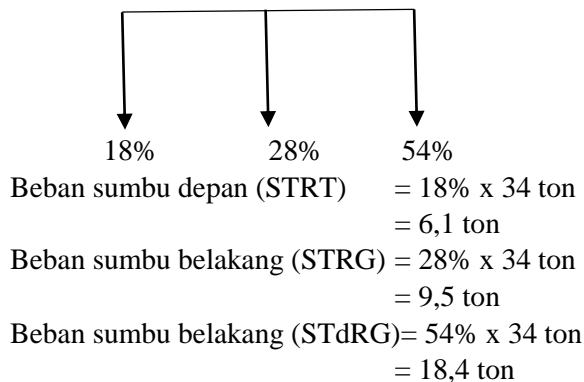
Total 31,4 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



l) Truk 4 Sumbu Trailer

Muatan maksimum = 34000 kg = 34 ton

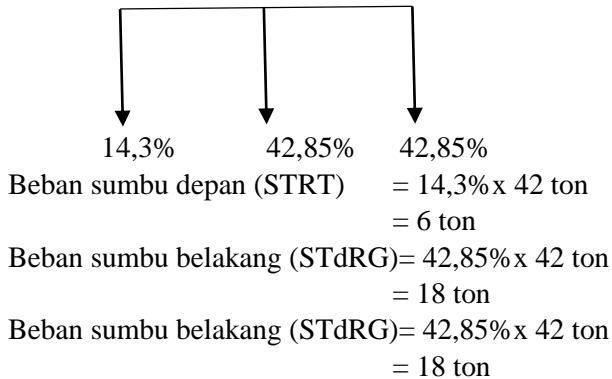
Total 34 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



m) Truk 5 Sumbu Trailer

Muatan maksimum = 42000 kg = 42 ton

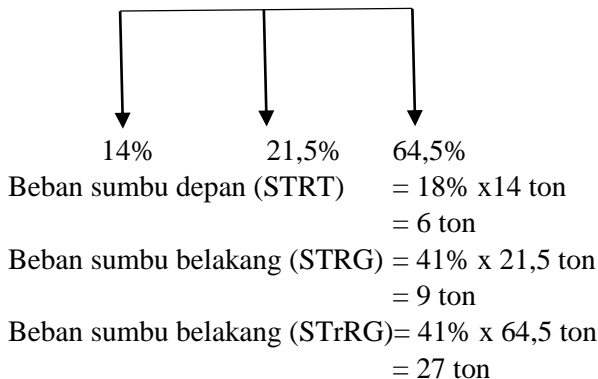
Total 42 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



n) Truk 5 Sumbu Trailer

Muatan maksimum = 42000 kg = 42 ton

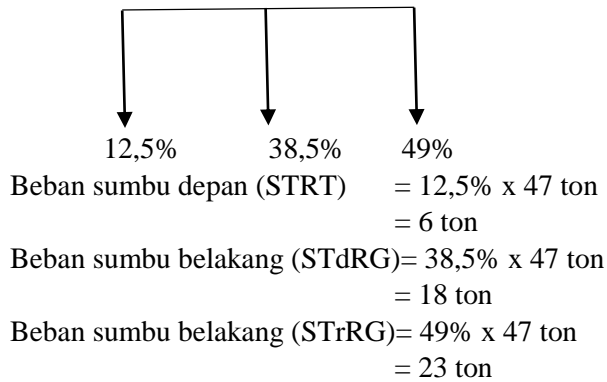
Total 42 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



o) Truk 6 Sumbu Trailer

Muatan maksimum = 47000 kg = 47 ton

Total 45 ton dengan distribusi beban sumbu sebagai berikut:



Setelah di dapatkan konfigurasi beban sumbu (ton). Selanjutnya dilakukan pembebanan kelompok beban yang aktual dengan mengacu pada (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016)). Perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Perhitungan Jumlah Sumbu berdasarkan Jumlah Jenis dan Bebannya

No	Jenis Kendaraan		Konfigurasi Sumbu dan Type	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Jumlah Kendaraan (buah)	Jumlah sumbu per kendaraan (buah)	Jumlah sumbu (buah)	STRT		STRG		STdRT		STdRG		STrRG	
				RD	RE	RGD	RGE				BS	JS	BS	JS	BS	JS	BS	JS	BS	JS
1	Gol I (Sedan, Minibus, Pick Up, Jeep, Microbus, Bus Kecil, Bus Besar)	Sedan, Jeep, Station dan Taxi (pribadi)	1,1	1,0	1,0			5181	-	-										
		Opelet, Pick up, Suburban, Combi, Minibus (MPU dan Angkot)	1,1	1,0	1,0			171	-	-										
		Pick Up, Micro Truk, Mobil Hantaran	1,1	1,0	1,0			366	-	-										
		Bus Kecil	1,2	1,7	3,3			77	2	154	2	77	3	77						
		Bus Besar	1,2	3,1	5,9			227	2	455	3	227	6	227						
2	Gol II (Truk dengan 2 gandar)	Truk 2 Sumbu Ringan	1,1	4,1	7,9			492	2	983	4	492								
								8	492											
		Truk 2 Sumbu Sedang	1.2 L	5,4	10,6			1704	2	3409	5	1704	11	1704						
		Truk 2 Sumbu Berat	1.2 H	6,2	12,0			645	2	1289	6	645	12	645						
3	Gol III (Truk dengan 3 gandar)	Truk 3 Sumbu Sedang	1-2.2	6,25	18,75			693	3	2080	6	693					19	693		
		Truk 3 Sumbu Berat	1.2-2	4,7	10,7	10,7		40	3	121	5	40	11	40						
4	Gol IV (Truk dengan 4 gandar)	Truk 2 sumbu dan Trailer Penarik 2 sumbu	1.2-2.2	5,0	11,3	7,5	7,5	63	4	253	5	63	8	63						
													8	63						
		Truk 4 Sumbu Trailer	1.2-22	6,1	9,5	18,4		132	4	530	6	132	10	132			18	132		
																	18	11		
																	18	11		
5	Gol V (Truk dengan 5 gandar atau lebih)	Truk 5 Sumbu Trailer	1.22-22	6,0	18,0	18,0		11	5	56	6	11								
		Truk 5 Sumbu Trailer	1.2-222	6,0	9,0	27,0		38	5	188	6	38	9	38					27	38
		Truk 6 Sumbu Trailer	1.22-222	6,0	18,0	23,0		15	6	90	6	15					18	15	23	15
TOTAL								9857		9609		4630		3094		0		863		53

Selanjutnya di hitung Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) rencana selama umur rencana (UR) 40 tahun dengan menggunakan persamaan 2.3

Tabel 2.7 Koefisien Dstribusi Kendaraan

Lebar Perkerasan (Lp)	Jumlah lajur (n _l)	Koefisien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50 \text{ m}$	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p < 8,25 \text{ m}$	2 lajur	0,7	0,5
$8,25 \text{ m} \leq L_p < 11,25 \text{ m}$	3 lajur	0,5	0,475
$11,23 \text{ m} \leq L_p < 15,00 \text{ m}$	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p < 18,75 \text{ m}$	5 lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p < 22,00 \text{ m}$	6 lajur	-	0,4

Sumber : (Bina Marga, 2016)

Dari Tabel 2.7 diatas di dapat koefisien distribusi (C) adalah 0,45 sesuai dengan eksisiting yang terdapat pada jalan tol solo-ngawi sengan lebar perkerasan 11,7 m dan dari Tabel 4.9 untuk nilai JSKNH = 9857 buah kendaraan

$$\begin{aligned}
 \text{JSKN rencana} &= \text{JSKNH} \times 365 \times R \times C & (2.3) \\
 &= 9857 \times 365 \times 49,89 \times 0,45 \\
 &= 80772962,39 \\
 &= 80,77 \times 10^6
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan JSKN rencana di dapatkan $80,77 \times 10^6$
Perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Perhitungan Repetisi Sumbu Beban

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	Lalu Lintas Rencana	Repetisi yang terjadi
STRT	8	492	0,106	0,55	80772962,39	4717164
	6	693	0,150	0,55	80772962,39	6653447
	6	645	0,139	0,55	80772962,39	6184727
	6	132	0,029	0,55	80772962,39	1270243
	6	38	0,008	0,55	80772962,39	361106
	6	15	0,003	0,55	80772962,39	144442
	6	11	0,002	0,55	80772962,39	108332
	5	1704	0,368	0,55	80772962,39	16352837
	5	63	0,014	0,55	80772962,39	607508
	5	40	0,009	0,55	80772962,39	388118
	4	492	0,106	0,55	80772962,39	4717164
	3	227	0,049	0,55	80772962,39	2180791
	2	77	0,017	0,55	80772962,39	739251
Total		4630	1			
STRG	18	15	0,005	0,26	80772962,39	101683
	12	645	0,207	0,26	80772962,39	4353868
	11	1704	0,548	0,26	80772962,39	11511922
	11	63	0,020	0,26	80772962,39	427668
	11	40	0,013	0,26	80772962,39	273224
	11	40	0,013	0,26	80772962,39	273224
	10	132	0,043	0,26	80772962,39	894214
	9	38	0,012	0,26	80772962,39	254208
	8	63	0,020	0,26	80772962,39	427668
	8	63	0,020	0,26	80772962,39	427668
	6	227	0,073	0,26	80772962,39	1335214
	3	77	0,025	0,26	80772962,39	320411
Total		3109	1			
STdRT	0	0		0,04	80772962,39	0
Total		0				
STdRG	19	693	0,803	0,12	80772962,39	7784167
	18	132	0,153	0,12	80772962,39	1486114
	18	15	0,017	0,12	80772962,39	168990
	18	11	0,013	0,12	80772962,39	126742
	18	11	0,013	0,12	80772962,39	126742
Total		863	1			
STrRG	27	38	0,714	0,01	80772962,39	576950
	23	15	0,286	0,01	80772962,39	230780
Total		53	1			
Kumulatif						75926585

Dari hasil perhitungan didapat JSKN rencana sebesar $80,77 \times 10^6$ dan Repetisi Sumbu beban Kumulatif sebesar $75,92 \times 10^6$. Maka dapat ditentukan Tebal pelat beton pada Tabel 2.9

Tabel 2.9 Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Lalu lintas Berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded)	< 4,3 x 10 ⁶	< 8,6 x 10 ⁶	< 25,8 x 10 ⁶	< 43 x 10 ⁶	< 86 x 10 ⁶
Dowel dan bahu beton	YA				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Pondasi LMC				150	
Lapis Pondasi Agregat Kelas A				150	

Sumber : (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016))

Didapatkan Tebal Pelat beton 305 mm, Tebal Lapis Pondasi LMC 150 mm, dan Tebal Lapis Pondasi Agregat Kelas A 150 mm

Perhitungan vehicle damage factor (VDF) pada kendaraan berat menjadi beban sumbu kendaraan berdasarkan pembagian beban kendaran pada Tabel 4.9 dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.2). Contoh perhitungan sebagai berikut:

(Truk 2 sumbu Sedang 16 Ton, Kartasuro – Solo)

$$\begin{aligned}
 \text{VDF} &= \left(\frac{P}{\text{Beban Sumbu Standar}} \right)^5 + \left(\frac{P}{\text{Beban Sumbu Standar}} \right)^5 \quad (2.2) \\
 &= \left(\frac{5,4}{5,4} \right)^5 + \left(\frac{10,6}{8,2} \right)^5 \\
 &= 4,58
 \end{aligned}$$

Volume lalu lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap di mana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu-lintas yang dapat ditentukan berdasarkan persamaan (2.5) berikut:

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \quad (2.5)$$

$$R = \frac{(1 + 0,01 \times (1,10\%))^{40} - 1}{0,01(1,10\%)}$$

$$R = 48,89$$

Menurut (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016)) faktor distribusi lajur (DL) untuk 2 lajur setiap arahnya, di dapat sebesar 80% kendaraan niaga pada lajur desain. Berikut ini Tabel 2.8 faktor distribusi lajur

Tabel 4.11 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016))

Nilai ESA dan CESA dicari berdasarkan nilai LHRT yang terdapat pada Tabel 4.5, Berdasarkan factor distribusi lajur pada Tabel 2.8 dan perhitungan karakteristik nilai rata-rata faktor ekivalen beban (VDF). Pada perhitungan nilai ESA dan CESA menggunakan persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{ESA}_{\text{TH-1}} &= (\sum_{\text{jenis kendaraan}} \text{LHRT} \times \text{VDF}_{\text{JK}}) \times \text{D}_L \quad (2.6) \\ &= 852 \times 4,58 \times 80\% \\ &= 3122 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CESA} &= \text{ESA}_{\text{TH-1}} \times 365 \times R \quad (2.7) \\ &= 3122 \times 365 \times 49,89 \\ &= 56848148,1 \end{aligned}$$

Perhitungan lengkap analisa lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 4.12 dibawah

Tabel 4.12 Perhitungan Analisa Lalu Lintas

No	Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu dan Type	LHR 2018		VDF	Faktor Distribusi	R (40 thin)	ESA5		CESA5		
			Kartasuro - Solo	Solo - Kertosono				Kartasuro - Solo	Solo - Kertosono	Kartasuro - Solo	Solo - Kertosono	
			Jumlah Kendaraan	Jumlah Kendaraan								
1	Gol I (Sedan, Minibus, Pick up, Jeep, Microbus, Bus Kecil, Bus Besar)	Sedan, Jeep, Station dan Taxi (pribadi)	1,1	2591	2591	-	80%	49,80	-	-	-	-
		Opelet, Pick up, Suburban, Combi, Minibus (MPU dan Angkot)	1,1	86	86	-	80%	48,99	-	-	-	-
		Pick Up, Micro Truk, Mobil Hantaran	1,1	183	183	-	80%	49,80	-	-	-	-
		Bus Kecil	1,2	39	39	0,014	80%	49,80	0,4	0,4	7645,2	7645,2
		Bus Besar	1,2	114	114	1,67	80%	49,80	151,7	151,7	2757860,3	2757860,3
2	Gol II (Truk dengan 2 gandar)	Truk 2 Sumbu Ringan	1,1	246	246	1,09	80%	49,89	213,7	213,7	3891441,9	3891441,9
		Truk 2 Sumbu Sedang	1,2 L	852	852	4,58	80%	49,89	3122,0	3122,0	56848148,1	56848148,1
3	Gol III (Truk dengan 3 gandar)	Truk 2 Sumbu Berat	1,2 H	322	322	8,72	80%	49,89	2248,6	2248,6	40944989,3	40944989,3
		Truk 3 Sumbu Sedang	1,2-2	347	347	7,06	80%	49,89	1957,7	1957,7	35646650,9	35646650,9
		Truk 3 Sumbu Berat	1,2-2	20	20	8,22	80%	49,89	133,1	133,1	2422917,9	2422917,9
4	Gol IV (Truk dengan 4 gandar)	Truk 2 sumbu dan Trailer Penarik 2 sumbu	1,2-2,2	32	32	6,99	80%	49,89	176,9	176,9	3221943,7	3221943,7
		Truk 4 Sumbu Trailer	1,2-22	66	66	8,46	80%	49,89	448,2	448,2	8160298,5	8160298,5
5	Gol V (Truk dengan 5 gandar atau lebih)	Truk 5 Sumbu Trailer	1,2-22	6	6	9,82	80%	49,89	44,3	44,3	807221,7	807221,7
		Truk 5 Sumbu Trailer	1,2-222	19	19	10,67	80%	49,89	160,7	160,7	2925479,3	2925479,3
		Truk 6 Sumbu Trailer	1,22-222	8	8	9,07	80%	49,89	54,6	54,6	994265,9	994265,9
TOTAL										17423,8		317257725,5

Dari Tabel perhitungan didapatkan nilai CESA5 sebesar 317257725,5. Nilai ini nantinya akan digunakan untuk menentukan tebal minimum peningkatan tanah dasar tergantung dari berapa angka CBR segment nya.

Dari hasil perhitungan pada sub bab 4.2.2 didapatkan nilai CBR dibawah CBR rencana dengan rata rata nilai CBR sebesar 4,04 %. Setelah mendapatkan nilai CESA₅ maka tebal minimum peningkatan tanah dasar dapat ditentukan. maka selanjutnya hasil perhitungan diplotkan pada Tabel 2.7 sebagai berikut:

Tabel 2.7 Desain Pondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur Desain Pondasi	Deskripsi Struktur Pondasi Jalan	Lalu lintas lajur desain umur rencana 40 tahun (juta CESA ₅)		
				< 2	2 - 4	> 4
				Tebal minimum peningkatan tanah dasar		
≥ 6	SG6	A	Perbaikan tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤200 mm tebal lepas)	Tidak perlu peningkatan		
5	SG5					100
4	SG4			100	150	200
3	SG3			150	200	300
2,5	SG2,5			175	250	350
Tanah ekspansif (potential swell > 5 %)		AE		400	500	600
Perkerasan lentur diatas tanah lunak ^d	SG1 aluvial ^b	B	Lapis Penopang (capping layer)(2)(4)	1000	1100	1200
			Atau lapis penopang dan geogrid (2)(4)	650	750	850
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan Burda untuk Jalanan kecil (nilai minimum - peraturan lain digunakan)		D	Lapis penopang berbutir (2)(4)	1000	1250	1500

Sumber : (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016))

Maka didapatkan tebal minimum peningkatan tanah dasar sebesar 200 mm hingga nilai CBR tanah dasar dapat dicapai menjadi 6% setelah peningkatan tanah dasarnya. Sesuai dengan nilai CBR rencananya.

Setelah didapatkan tebal tanah dasar maka dapat menentukan drainase bawah permukaan. Direncanakan drainase bawah permukaan berada di atas tanah dengan drainase sub soil, medan datar. Terkadang drainase sub soil di bawah.

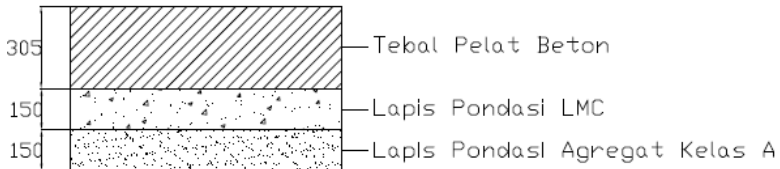
Bagan desain dalam (Bina Marga, 2013 (Dimutakhirkan April 2016)) ini mengasumsikan drainase dalam kondisi baik. Jika kondisi drainase m di bawah 1, maka tebal lapis berbutir harus dinaikan dengan rumus.

sehingga tebal lapis berbutir adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal Lapis Berbutir desain} &= \left(\frac{\text{Tebal Hasil dari Bagan Desain}}{m} \right) \\
 &= \frac{200 \text{ mm}}{1} \\
 &= 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga perlu ditambahkan 200 mm lapisan drainase agregat A bila drainase dalam kondisi tidak baik

Berikut ini hasil dari perencanaan tebal perkerasan konvensional :



Gambar 4.2 Tebal Perkerasan Kaku Konvensional

4.2.1.4 Perencanaan Tulangan

Penulangan pada perkerasan kaku (Rigid Pavement) ada 2 yaitu penulangan memanjang dan penulangan melintang. Luas penampang tulangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8)

Berikut ini adalah data yang dibutuhkan dalam menghitung tulangan:

Koefisien Gesek Pelat (μ)	= 1,3
Berat Jenis Beton (M)	= 2400 kg/cm^3
Gravitasi (g)	= $9,81 \text{ m/s}^2$
Tebal Pelat (h)	= 30 cm
Tegangan Leleh Baja Minimum (fs)	= 240 kg/cm^2

a) Tulangan Memanjang

Berikut ini perhitungan tulangan memanjang:

Panjang pelat memanjang (L) = 500 cm

Menentukan nilai luas tulangan yang dibutuhkan (As)

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s} & (2.8) \\
 &= \frac{1,3 \times 5 \times 2400 \times 9,81 \times 0,3}{2 \times 240} \\
 &= 133,91 \text{ mm}^2/\text{m}'
 \end{aligned}$$

Menentukan nilai luas minimum ($A_s \min$)

$$A_s \min = 0,1\% \times 1000 \times 300 = 300 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Karena $A_s < A_s \min$, maka dipakai $A_s \min$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tulangan} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times \frac{1000}{A_s} \\ &= 0,25 \times \pi \times 8^2 \times \frac{1000}{300} \\ &= 167,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil} = 150 \text{ mm}$$

Dipergunakan tulangan diameter 8 mm jarak 150 mm dengan pola anyam las bujur sangkar

b) Tulangan Melintang

Berikut ini perhitungan tulangan memanjang:

Panjang pelat memanjang (L) = 700 cm

Menentukan nilai luas tulangan yang dibutuhkan (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s} & (2.8) \\ &= \frac{1,3 \times 7 \times 2400 \times 9,81 \times 0,3}{2 \times 240} \\ &= 133,91 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

Menentukan nilai luas minimum ($A_s \min$)

$$A_s \min = 0,1\% \times 1000 \times 300 = 300 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Karena $A_s < A_s \min$, maka dipakai $A_s \min$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tulangan} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times \frac{1000}{A_s} \\ &= 0,25 \times \pi \times 8^2 \times \frac{1000}{300} \\ &= 167,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Diambil} = 150 \text{ mm}$$

Dipergunakan tulangan diameter 8 mm jarak 150 mm dengan pola anyam las bujur sangkar

Jadi, rekapitulasi tulangan yang digunakan dengan pola anyaman empat persegi panjang pada Tabel 4.13 sebagai berikut

Tabel 4.13 Rekapitulasi Tulangan Konvensional

No	Tipe Tulangan	Tulangan
1	Memanjang	D8-150
2	Melintang	D8-150

Dalam pelaksanaan pekerjaan struktur perlu dilakukan perhitungan konversi besi tulangan batangan konvensional ke besi wire mesh, salah satu alasannya adalah untuk mempercepat proses pelaksanaan pekerjaan. Berikut ini perhitungan konversi besi tulangan ke wire mesh

Data Lantai

- Tulangan konvensional plat lantai = D8-150
- Mutu tulangan deform (f_{yd}) = 4000 kg/cm^2
- Mutu tulangan wiremesh (f_{yw}) = 5000 kg/cm^2

Perhitungan Konversi Tulangan ke Wire Mesh

- Luas tulangan konvensional

$$\begin{aligned} A_s &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times \frac{1000}{\text{Jarak}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 8^2 \times \frac{1000}{150} \\ &= 335,10 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan wire mesh yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} A_s \text{ butuh} &= A_s \times \left(\frac{f_{yd}}{f_{yw}} \right) \\ &= 335,10 \times \left(\frac{4000}{5000} \right) \\ &= 268,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan wire mesh

Direncanakan menggunakan wire mesh M8-175

$$A_s W = 0,25 \times \pi \times D^2 \times \frac{1000}{\text{Jarak}}$$

$$= 0,25 \times \pi \times 8^2 \times \frac{1000}{175}$$

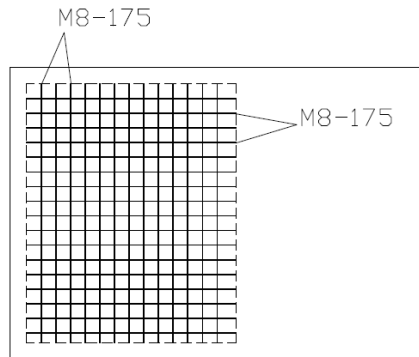
$$= 287,23 \text{ mm}^2$$

As W > As butuh = $287,23 \text{ mm}^2 > 268,08 \text{ mm}^2$ (OKE)

Jadi penggunaan besi batangan D8-150 bisa diganti dengan besi wiremesh M8-175

- Luas tulangan wire mesh sisa
 As W sisa = +As w – As Butuh
 $= 287,23 - 268,08$
 $= 19,15 \text{ mm}^2$

Pada perhitungan diatas kita lihat ada kelebihan tulangan wiremesh sebesar $19,15 \text{ mm}^2$. Tidak jadi masalah karena nilai tersebut terbilang kecil jika dibanding dengan penghematan tenaga kerja dan waktu pelaksanaan



Gambar 4.3 Penulangan Pelat

4.2.1.5 Perencanaan Sambungan

Pada perencanaan sambungan antarpelat ada dua yaitu menggunakan Ruji (dowel). Berikut ini adalah rencana sambungan untuk perencanaan jalan tol ini:

- a) Sambungan memanjang dengan batang pengikat (tie bars)

Sambungan ini digunakan untuk menghubungkan antar pelat memanjang dengan batang pengikat (tie bars). Batang pengikat digunakan baja ulir Ø 16 mm. Untuk panjang batang pengikat ditentukan berdasarkan rumus (2.10) berikut:

$$\begin{aligned}
 I &= (38,3 \times \emptyset) + 75 & (2.10) \\
 &= (38,3 \times 16) + 75 \\
 &= 687,8 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi, Batang pengikat digunakan baja ulir D16 dengan panjang 700 mm dan jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm atau 750 mm.

b) Sambungan melintang dengan batang ruji (dowel)

Sambungan ini memerlukan ruji polos lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan mempengaruhi gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut akibat suhu, kelembaban dan gesekan sehingga mencegah terjadinya retakan. Dari tabel dapat didapatkan diameter, panjang serta jarak yang digunakan untuk sambungan susut melintang. Dengan Tabel 2.11 sebagai berikut:

Tabel 2.11 Ukuran dan Jarak Dowel yang Disarankan

Tebal Pelat Perkerasan		Dowel					
		Diameter		Panjang		Jarak	
inci	mm	inci	mm	inci	mm	Inci	mm
6	150	3/4.	19	18	450	12	300
7	175	1	25	18	450	12	300
8	200	1	25	18	450	12	300
9	225	1 3/4	32	18	450	12	300
10	250	1 3/4	32	18	450	12	300
11	275	1 3/4	32	18	450	12	300
12	300	1 1/2	38	18	450	12	300
13	325	1 1/2	38	18	450	12	300

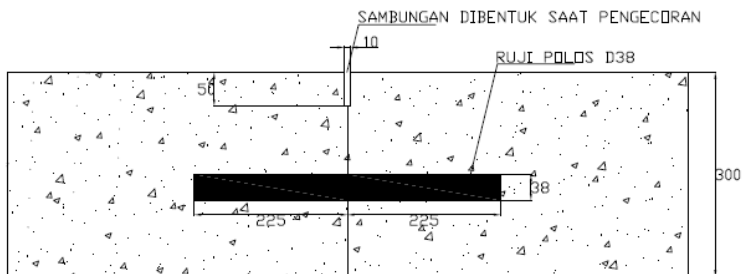
14	350	1 1/2	38	18	450	12	300
----	-----	-------	----	----	-----	----	-----

Sumber : (E.J.Yoder, 2008)

Dari tabel didapatkan untuk perkerasan dengan tebal 300 mm menggunakan Ø 38 dengan panjang 450 mm dan jarak 300 mm

c) Sambungan Susut

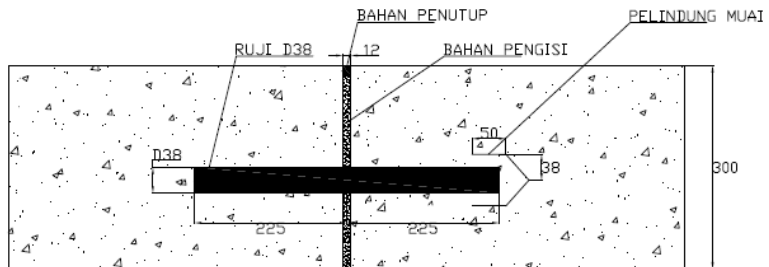
Sambungan ini direncanakan ntuk mencegah terjadinya retakan pada pelat beton menyusut akibat suhu, kelembaban, dab gesekan sehingga mencegah terjadinya retakan. Tipikal dari sambungan ini dapat dilihat pada gambar (4.5) berikut:



Gambar 4.4 Tipikal Sambungan Susut Melintang dengan Ruji

d) Sambungan isolasi

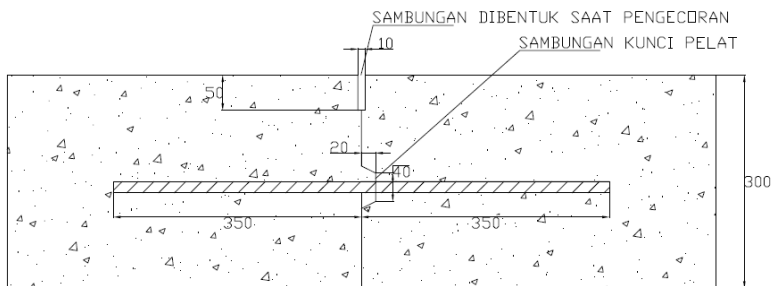
Sambungan ini memisahkan perkerasan denan bangunan lain, misalnya man hole, jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan dan lain sebagainya. Tipikal dari sambungan ini dapat dilihat pada gambar (4.6) berikut:



Gambar 4.5 Tipikal Sambungan Isolasi melintang Dengan Ruji

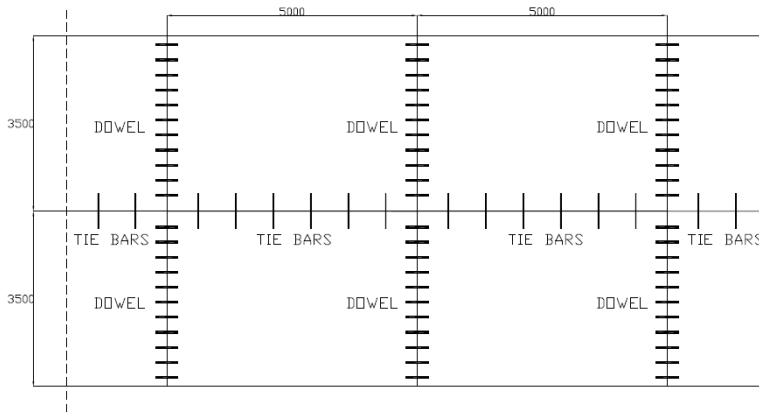
e) Sambungan pelaksanaan

Sambungan yang diperlukan untuk kebutuhan pelaksanaan konstruksi. Tipikal dari sambungan ini dapat dilihat pada gambar (4.7) berikut:



Gambar 4.6 Tipikal Sambungan Pelaksanaan dengan Tie Bars

Berikut ini gambar (4.8) adalah sketsa gambar sambungan yang direncanakan:



Gambar 4.7 Sketsa Gambar Sambungan

4.2.2 Metode AASHTO

Diketahui :

- 1) Pertumbuhan lalu lintas = 1,10 %
- 2) Umur Rencana = 25 tahun
- 3) Faktor Pertumbuhan Lalu lintas =

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i}$$

$$R = \frac{(1 + 0,01 \times (1,10\%)^{40} - 1}{0,01(1,10\%)}$$

$$R = 48,89$$

- 4) Volume Kendaraan

Tabel 4.14 Rekapitulasi Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata

No	Jenis Kendaraan	Konfigurasi Sumbu dan Type	LHR 2018	
			Kartasuro - Solo	Solo - Kertosono
			Jumlah Kendaraan	Jumlah Kendaraan
1	Gol I (Sedan, Minibus, Pick Up, Jeep, Microbus, Bus Kecil, Bus Besar)	Sedan, Jeep, Station dan Taxi (pribadi)	1,1	2591
		Opelet, Pick up, Suburban, Combi, Minibus (MPU dan Angkot)	1,1	86
		Pick Up, Micro Truk, Mobil Hantaran	1,1	183
		Bus Kecil	1,2	39
		Bus Besar	1,2	114
			1,1	246
2	Gol II (Truk dengan 2 gandar)	Truk 2 Sumbu Ringan	1,2 L	852
		Truk 2 Sumbu Sedang	1,2 H	322
3	Gol III (Truk dengan 3 gandar)	Truk 3 Sumbu Berat	1,2-2	347
		Truk 3 Sumbu Sedang	1,2-2	20
4	Gol IV (Truk dengan 4 gandar)	Truk 2 sumbu dan Trailer Penarik 2 sumbu	1,2-2,2	32
		Truk 4 Sumbu Trailer	1,2-2,2	66
5	Gol V (Truk dengan 5 gandar atau lebih)	Truk 5 Sumbu Trailer	1,2-2,2	6
		Truk 6 Sumbu Trailer	1,2-2,2	19
			8	8

4.2.2.1. Menghitung Nilai Axle Load Equivalency Factors untuk Rigid Pavement D = 10 dan IPt = 3

Pada perhitungan Axle Load Equivalency Factors perkerasan kaku ini, hampir sama dengan perkerasan lentur. Adapun untuk perhitungan direncanakan dengan nilai :

- IPt = 3 (untuk persentasi orang tidak menerima kondisi jalan 12 %, jalan bebas hambatan)
- D = 10 (asumsi awal)
- DD = 0.5 (untuk dua arah 0.3-0.7)
- DL = 80% = 0.8, untuk jumlah lajur per-arrah 3.

1. Axle Load Kendaraan Bus Kecil (1.2)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 1,7 ton dan roda belakang 3,3 ton serta jenis sumbu yaitu single axles, D asumsi = 10 dan IPt = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.15 Axle Load Kendaraan Bus Kecil (1.2)

Bus Kecil	<u>5</u>	0,0258	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>1,7</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
2	0,0002		
3,74782	0,0018	NILAI ESAL	
4	0,0020		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>3,3</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
6	0,0100		
7,2752	0,0240	NILAI ESAL	
8	0,0320		

2. Axle Load Kendaraan Bus Besar (1.2)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 3,1 ton dan roda belakang 5,9 ton serta jenis sumbu yaitu single axles, D asumsi = 10 dan IPt = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.16 Axle Load Kendaraan Bus Besar (1.2)

Bus Besar	<u>9</u>	0,2818	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>3,1</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
4	0,0020		
6,83426	0,0233	NILAI ESAL	
8	0,0320		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>5,9</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
12	0,1760		
13,0071	0,2586	NILAI ESAL	
14	0,3400		

3. Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu Ringan (1.1)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 4,1 ton dan roda belakang 7,9 ton serta jenis sumbu yaitu single axles, D asumsi = 10 dan IPt = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.17 Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu Ringan (1.1)

Truck 2 Sumbu Ringan	<u>12</u>	0,9416	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>4,1</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
8	0,0320		
9,03886	0,0575	NILAI ESAL	
10	0,0810		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>7,9</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
16	0,6030		
17,4163	0,8841	NILAI ESAL	
18	1,0000		

4. Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu Sedang (1.2L)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 5,4 ton dan roda belakang 10,6 ton serta jenis sumbu yaitu single axles, D asumsi = 10 dan IPt = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.18 Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu Sedang (1.2L)

Truck 2 Sumbu Sedang	<u>16</u>	3,2264	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>5,4</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
10	0,0810		
11,90484	0,1715	NILAI ESAL	
12	0,1760		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>10,6</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
22	2,3500		
23,3688	3,0549	NILAI ESAL	
24	3,3800		

5. Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu Berat (1.2H)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 6,2 ton dan roda belakang 12 ton serta jenis sumbu yaitu single axles, D asumsi = 10 dan IPt = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.19 Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu Berat (1.2H)

Truck 2 Sumbu Berat	<u>18</u>	3,2264	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>5,4</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
10	0,0810		
11,90484	0,1715	NILAI ESAL	
12	0,1760		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>10,6</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
22	2,3500		
23,3688	3,0549	NILAI ESAL	
24	3,3800		

6. Axle Load Kendaraan Truck 3 Sumbu Sedang (1.2.2)
- Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 6,25 ton dan roda belakang 18,75 ton serta jenis sumbu yaitu single axles dan tandem axle, D asumsi = 10 dan IPt = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.20 Axle Load Kendaraan Truck 3 Sumbu Sedang (1.2.2)

Truck 3 Sumbu Sedang	<u>25</u>	4,6271	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>6,25</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
12	0,1760		
13,77875	0,3192	NILAI ESAL	
14	0,3370		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>18,75</u>	ton	
Sumbu Ganda			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
40	3,7600		
41,3363	4,3079	NILAI ESAL	
42	4,5800		

7. Axle Load Kendaraan Truck 3 Sumbu Berat (1.2-2)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 4,7 ton, roda tengah 10,7 ton dan roda belakang 10,7 ton serta jenis sumbu yaitu single axles, D asumsi = 10 dan IPT = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.21 Axle Load Kendaraan Truck 3 Sumbu Berat (1.2-2)

Truck 3 Sumbu Berat	<u>26,2</u>	4,4212	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>4,7</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
12	0,1760		
10,36162	0,0417	NILAI ESAL	
14	0,3400		
Roda Tengah			
Beban per sumbu =	<u>10,7</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
22	1,5700		
23,5892	2,1898	NILAI ESAL	
24	2,3500		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>10,7</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
22	1,5700		
23,5892	2,1898	NILAI ESAL	
24	2,3500		

8. Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu (1.2-2.2)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 5 ton, roda tengah 11,3 ton dan trailer penarik roda depan 7,5 ton dan roda belakang 7,5 ton serta jenis sumbu yaitu single axles, D asumsi = 10 dan IPt = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.22 Axle Load Kendaraan Truck 2 Sumbu dan Trailer
Penarik 2 Sumbu (1.2-2.2)

Truck 2 Sumbu dan Trailer Penarik 2 Sumbu	31,4	4,2417	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	5	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
10	0,0810		
11,023	0,1286	NILAI ESAL	
12	0,1740		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	11,3	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
22	2,3500		
24,9120	3,0998	NILAI ESAL	
26	3,3800		
Roda Depan Penarik			
Beban per sumbu =	7,5	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
14	0,3400		
16,5345	0,5066	NILAI ESAL	
18	0,6030		
Roda Belakang Penarik			
Beban per sumbu =	7,5	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
14	0,3400		
16,5345	0,5066	NILAI ESAL	
18	0,6030		

9. Axle Load Kendaraan Truck 4 Sumbu Trailer (1.2-22)
 Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 6,1 ton, roda tengah 9,5 ton dan roda belakang 18,4 ton serta jenis sumbu yaitu single axles dan tandem axle, D asumsi = 10 dan IPT = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.23 Axle Load Kendaraan Truck 4 Sumbu Trailer (1.2-22)

Truk 4 Sumbu Trailer	<u>34</u>	6,3228	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>6,1</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
12	0,1760		
13,44806	0,2947	NILAI ESAL	
14	0,3400		
Roda Tengah			
Beban per sumbu =	<u>9,5</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
18	1,0000		
20,9437	1,9935	NILAI ESAL	
22	2,3500		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>18,4</u>	ton	
Sumbu Ganda			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
38	3,0600		
40,5646	4,0346	NILAI ESAL	
42	4,5800		

10. Axle Load Kendaraan Truck 5 Sumbu Trailer (1.22-22)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 6 ton, roda tengah 18 ton dan roda belakang 18 ton serta jenis sumbu yaitu single axles dan tandem axle, D asumsi = 10 dan IPt = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.24 Axle Load Kendaraan Truck 5 Sumbu Trailer (1.22-22)

Truk 5 sumbu Trailer	42	4,5901	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	6,1	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
12	0,1760		
13,44806	0,2947	NILAI ESAL	
14	0,3400		
Roda Tengah			
Beban per sumbu =	9,5	ton	
Sumbu Ganda			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
18	0,1320		
20,9437	0,2608	NILAI ESAL	
22	0,3070		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	18,4	ton	
Sumbu Ganda			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
38	3,0600		
40,5646	4,0346	NILAI ESAL	
42	4,5800		

11. Axle Load Kendaraan Truck 5 Sumbu Trailer (1.2-222)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 6 ton, roda tengah 9 ton dan roda belakang 27 ton serta jenis sumbu yaitu single axles dan tandem axle, triple axle D asumsi = 10 dan IPT = 3, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.25 Axle Load Kendaraan Truck 5 Sumbu Trailer (1.2-222)

Truk 5 sumbu Trailer	42	7,6213	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>5</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
12	0,1760		
11,023	0,0959	NILAI ESAL	
14	0,3400		
Roda Tengah			
Beban per sumbu =	<u>9</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
18	1,0000		
19,8414	1,6215	NILAI ESAL	
22	2,3500		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>27</u>	ton	
Sumbu Triple			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
58	5,3400		
59,5242	5,9040	NILAI ESAL	
60	6,0800		

12. Axle Load Kendaraan Truck 6 Sumbu Trailer (1.22-222)

Dengan kapasitas per-masing sumbu yaitu roda depan 6 ton, roda tengah 18 ton dan roda belakang 23 ton serta jenis sumbu yaitu single axles dan tandem axle, triple axle D asumsi = 10 dan $I_{Pt} = 3$, maka dilakukan interpolasi terhadap beban per-sumbu tiap kendaraan, sehingga diperoleh:

Tabel 4.26 Axle Load Kendaraan Truck 6 Sumbu Trailer (1.22-222)

Truk 5 sumbu Trailer	<u>47</u>	6,7400	
Roda Depan			
Beban per sumbu =	<u>6</u>	ton	
Sumbu Tunggal			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
12	0,1760		
13,2276	0,2767	NILAI ESAL	
14	0,3400		
Roda Tengah			
Beban per sumbu =	<u>18</u>	ton	
Sumbu Ganda			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
38	3,0600		
39,6828	3,6490	NILAI ESAL	
40	3,7600		
Roda Belakang			
Beban per sumbu =	<u>23</u>	ton	
Sumbu Triple			
Interpolasi	1 ton =	2,2046	kips
Axles (kips)	Axle Load Equivalency Factors (SN=5)		
48	2,5100		
50,7058	2,8144	NILAI ESAL	
52	2,9600		

Berdasarkan perhitungan terhadap nilai *Axle Load Equivalency Factor* dengan menggunakan percobaan D = 10 yang telah dilakukan diatas, maka dapat diperoleh total ESAL/hari. Adapun perhitungan total ESAL/hari dapat terlihat pada Tabel , yaitu :

Berat Beban/Sumbu (ton)	FAIF	
-------------------------	------	--

Kendaraan	Volume	Kapasitas	Konf.	Berat Beban/Sumbu (ton)			EALF			EALF/kend. (ESAL)	Jumlah ESAL (11 x 2)
				Sb-1	Sb-2	Sb-3	Sb-1	Sb-2	Sb-3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sedan, Jip,	5.182	2	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-
angkutan umum	172	2	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Pick up	366	2	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Bus kecil	78	5	1,2	5	-	-	0,0258	-	-	0,0258	2,01
bus besar	228	9	1,2	9	-	-	0,2818	-	-	0,2818	64,26
Truk 2 sumbu ringan	492	12	1,1	12	-	-	3,2264	-	-	3,2264	1587,38
Truk 2 sumbu sedang	1.704	16	1,2 L	16	-	-	3,2264	-	-	3,2264	5497,77
Truk 2 sumbu berat	644	18,2	1,2 H	18	-	-	3,2264	-	-	3,2264	2077,80
Truk 3 sumbu sedang	694	25	1-2-2	6	19	-	0,3192	4,3079	-	4,6271	3211,17
Truk 3 sumbu berat	40	26,2	1-2-2	5	-	-	0,0417	4,3796	-	4,4212	176,85
Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	64	31,4	1-2-2-2	32	-	-	4,2417	-	-	4,2417	271,47
Truk 4 sumbu trailer	132	34	1-2-22	16	18	-	0,2947	6,0281	-	6,3228	834,61
Truk 5 sumbu trailer	12	42	1-2-22	6	36	-	0,2947	4,2954	-	4,5901	55,08
Truk 5 sumbu trailer	38	42	1-2-222	15	-	27	0,0959	1,6215	5,9040	7,6213	289,61
Truk 6 sumbu trailer	16	47	1-2-222	6	18	23	0,2767	3,6490	2,8144	6,7400	107,84
										Total ESAL/hari kedua arah =	14175,86

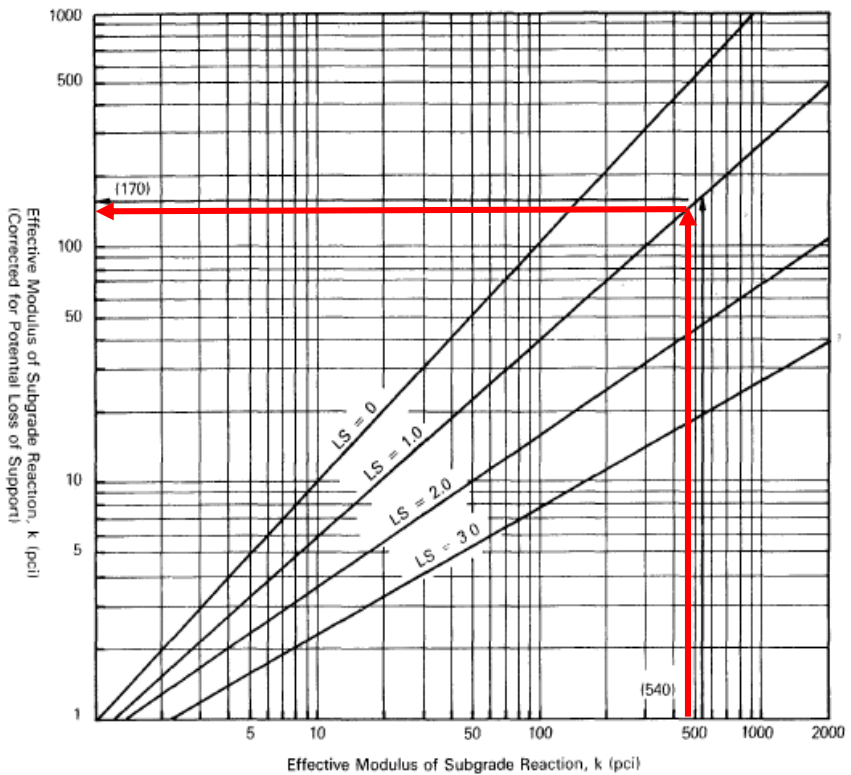
Tabel 4.28 (lanjutan) ESAL untuk D=10 dan IPt=3

KENDARAAN	KONFIGURASI SUMBU	ESAL	LHR AWAL	FAKTOR UR	W18 (3X4X5X365XDDXDL)
1	2	3	4	5	6
Sedan, Jip,	1,1	-	-	-	-
angkutan umum	1,1	-	-	-	-
Pick up	1,1	-	-	-	-
Bus kecil	1,2	0,0258	78	48,89	17955,5006
bus besar	1,2	0,2818	228	48,89	573355,6911
Truk 2 sumbu ringan	1,1	3,2264	492	48,89	14163319,32
Truk 2 sumbu sedang	1,2 L	3,2264	1704	48,89	49053447,41
Truk 2 sumbu berat	1,2 H	3,2264	644	48,89	18538978,95
Truk 3 sumbu sedang	1-2.2	4,6271	694	48,89	28651459,19
Truk 3 sumbu berat	1.2-2	4,4212	40	48,89	1577928,877
Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2	4,2417	64	48,89	2422154,926
Truk 4 sumbu trailer	1.2-22	6,3228	132	48,89	7446744,94
Truk 5 sumbu trailer	1.2-22	4,5901	12	48,89	491456,9118
Truk 5 sumbu trailer	1.2-222	7,6213	38	48,89	2584022,389
Truk 6 sumbu trailer	1.22-222	6,7400	16	48,89	962200,8361
				Total	126.483.024,94
				log W18	7,58

4.2.2.2. Perhitungan Perencanaan Perkerasan Kaku untuk $D=10$ dan $IPt = 3$

Dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, dengan menggunakan asumsi nilai $D = 10$ dan nilai $IPt = 3$ diperoleh nilai ESAL per-tahun (W18) yaitu 126.483.024,94 dengan $\log(W18) = 7.58$. Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut maka dilakukan perencanaan perkerasan kaku untuk metode AASHTO 1993. Adapun parameter-parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan, antara lain :

- a. $D = 10$
- b. $IPt = 3$, untuk persentase orang tidak menerima 12%, jalan bebas hambatan
- c. $Ipo = 4.5$, untuk perkerasan kaku.
- d. $Z_r = -0.8410$ (untuk nilai R dari jalan Tol Rural 80%)
- e. $So = 0.25$, untuk Rigid Pavement.
- f. $S'_c = 650$ psi , untuk beton normal
- g. $Cd = 1.2$
- h. $J = 3.1$, untuk beton bersambung tanpa/dengan tulangan.
- i. $f'_c = 500$ kg/cm³ untuk K-500
- j. $E_c = 1274558,747$ psi
- k. CBR = 6% (untuk subgrade)
- l. $Mr = 1500 \times CBR = 1500 \times 6 = 9000$ psi
- m. $\log(W18) = 7.66$
- n. $k = Mr/19.4 = 9000/19.4 = 463.918$ pci
- o. LS = 1 untuk Lean Concrete dan Cement Agregate Mixtures.
- p. $k' = 160$ pci (corrected for potential loss of support).



Gambar 4.8 Koreksi Modulus Reaksi Tanah Dasar Efektif Atas Potensi Kehilangan Daya Dukung Lapis Sub-Pondasi (Subbase)

Sumber : (American Association Of State Highway And Transportation Officials, 1993)

Tebal Perkerasan Kaku

$$\begin{aligned}
 \text{Log } (W_{18}) &= Z_R S_o + 7,35 \log_{10}(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \left[\frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}} \right]} + \\
 &\quad (4,22 - 0,34 \text{Pt}) \times \log_{10} \frac{S'c C d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J (D^{0,75} \frac{18,42}{(\frac{EC}{K})^{0,25}})} \\
 7,58 &= -0,841 \quad 0,25 + 7,35 \log_{10}(10+1) - 0,06 + \\
 &\quad \frac{\log_{10} \left[\frac{4,5-3}{4,5-1,5} \right]}{1 + \left[\frac{1,624 \times 10^7}{(10+1)^{8,46}} \right]} + (4,22 - 0,34(3)) \times \log_{10} \\
 &\quad \frac{S'c C d (10^{0,75} - 1,132)}{215,63 \cdot 3,1 (10^{0,75} \frac{18,42}{(\frac{1274558,747}{160})^{0,25}})} \\
 7,58 &= 7,58 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan perhitungan $\log(W_{18})$ sama, berarti nilai $D = 10$ inch, sudah sesuai dan tidak dilakukan perhitungan kembali dengan asumsi lainnya. Sehingga, dalam perencanaan *rigid pavement* digunakan beton dengan mutu K-500 dengan tebal slab sebesar 10 inch = 25 cm. Pada perkerasan *rigid pavement* ini menggunakan *subbase lean concrete* tanpa tulangan mutu K-175 dengan tebal 10 cm, yang nanti juga berfungsi sebagai lantai kerja.

4.2.2.3. Penulangan Perkerasan Kaku

Pada perencanaan perkerasan kaku direncanakan menggunakan jenis beton bersambung dengan tulangan. Pemilihan jenis ini dikarenakan struktur ini cukup kokoh apabila digunakan untuk lalu lintas kendaraan yang berat dan juga lebih mudah dalam pemasangan karena terbagi kedalam segmen-segmen yang disatukan menggunakan sambungan. Adapun parameter-parameter perhitungan penulangan beton bersambung dengan tulangan, antara lain :

- Tebal pelat = 25 cm

- Lebar pelat = 3.6 m
- Panjang pelat = 5 m (18 s.d 20 x tebal pelat)
- Asmin = 0.14% dari luas penampang beton
= 0.14% x 25 cm x 5 cm x 1 m
= 175 mm²/m

1. Arah Memanjang

- $f_s = 240$ psi
- $L = 5$ m
- $h = 250$ mm
- $f_a = 1.5$ (stabilisasi semen)
- $A_s = \frac{11,76 h L' f_a}{f_s} = 91,875 \text{ mm}^2/\text{m}$
- Syarat ; $A_s \leq A_{smin}$, digunakan A_{smin}
- Direncanakan menggunakan tulangan ulir diameter D12-250 mm/m ($A_{stul} = 113,097 \text{ mm}^2/\text{m}$).

2. Arah Melintang

- $f_s = 240$ psi
- $L = 11,7$ m
- $h = 250$ mm
- $f_a = 1.5$ (stabilisasi semen)
- $A_s = \frac{11,76 h L' f_a}{f_s} = 214,9875 \text{ mm}^2/\text{m}$
- Syarat ; $A_s \geq A_{smin}$, digunakan A_s
- Direncanakan menggunakan tulangan ulir diameter D12-250 mm/m ($A_{stul} = 113,097 \text{ mm}^2/\text{m}$).

3. Dowel

Berdasarkan Tabel , digunakan dowel dengan tebal pelat perkerasan 25 cm dimana diameter dowel 32 mm, panjang 450 mm dan jarak 300 mm.

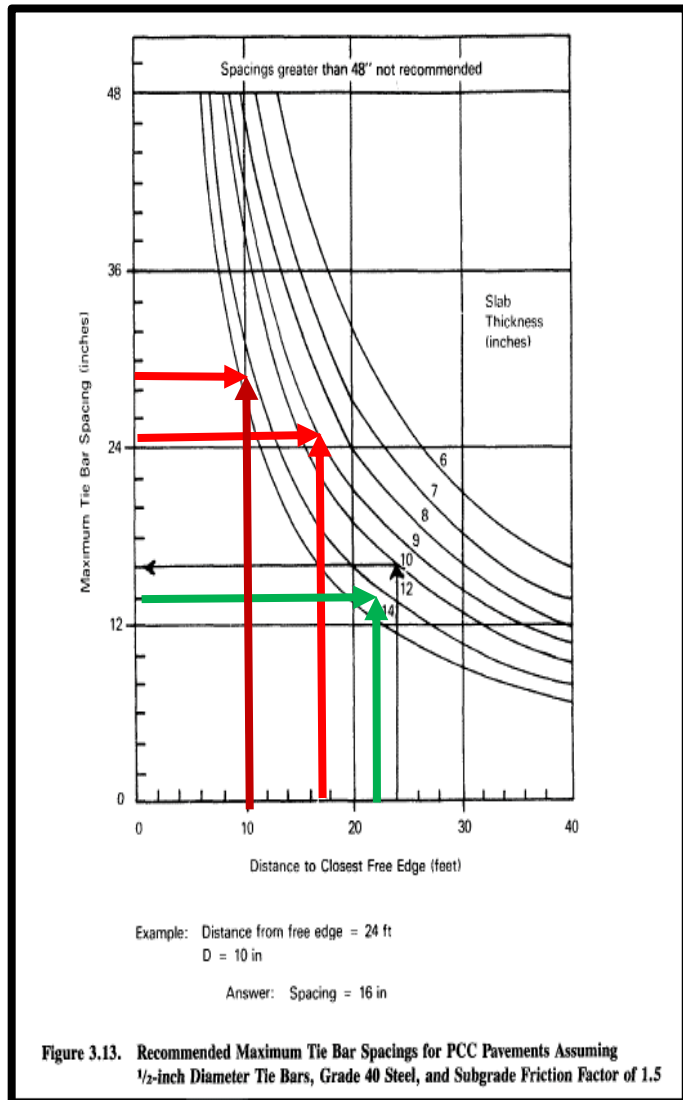
4. Tie Bar



Bahu Jalan Dalam	1,5 m
Lajur 1	3.6m
Lajur 2	3.6m
Bahu Jalan Luar	3m

Gambar 4.9 Tampak 2 lajur yang menggambarkan posisi sambungan arah memanjang yang berkaitan dengan jarak terdekat ke bagian tepi perkerasan

Tabel 4.29 Perancangan Tie Bar Diameter ½ Inch Ditinjau Dari Jarak Terdekat Dari Tepi Perkerasan



Tabel 4.30 jarak terdekat dengan tepi

Nomor Sambungan	Jarak terdekat dari tepi perkerasan x (m)	Jarak terdekat dari tepi perkerasan x (feet)	Jarak maksimum (inch) baja dia 1/2 inch	Jarak maksimum (cm) baja dia 1/2 inch	Panjang Tie Bar min (inch)	Panjang Tie Bar min (mm)
1	5,1	17,00	25	64	30	765
2	6,6	22,00	14	36	30	765
3	3	10,00	28,5	73	30	765

Dalam mempermudah perencanaan, maka tie bars yang digunakan adalah jarak terdekat terhadap tepi perkerasan yaitu 3 m dengan diameter ½ inch (2.54 cm) jarak 730 mm dan panjang 765 mm.

4.2.3 Perbandingan Desain Ketebalan Perkerasan Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2016 dengan AASHTO

Perkerasan kaku dengan menggunakan metode AASHTO dan juga menggunakan mutu beton K500 memiliki ketebalan 25 cm berbeda dengan Perkerasan kaku dengan menggunakan manual desain perkerasan jalan 2016 dan dengan menggunakan mutu beton K350 memiliki tebal 30,5 cm

4.2.4 Metode Pelaksanaan

a) Alat :

1. Concrete Paver 1 Unit
2. String Line 1 Set
3. Grooving Tools 1 Bh
4. Mistar Hollow L 5 Bh
5. Ruskam 6 Bh
6. Vibrator Engine 1 Unit
7. Concrete Cutter 1 unit
8. Stoper Chair 2 Bh
9. Curing Sprayer 1 Bh
10. Dump Truck
11. Tenda

b) Bahan :

1. Beton kelas P Slump max 5

2. Dowel Bar Ø38 BJTP30
3. Curing Compound
4. Plastik & Geotextile

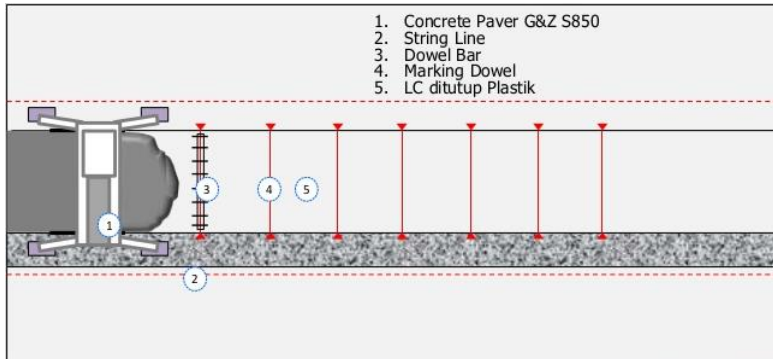
c) Tenaga :

- | | |
|------------------|-------|
| 1. Finishing | 6 org |
| 2. Groving | 3 org |
| 3. Curing Spray | 1 org |
| 4. Tusuk Tie Bar | 2 org |

d) Langkah-langkah :

1. Marking posisi dowel.
2. Stake out string line sesuai elevasi rencana perhatikan posisi string agar tidak tersangkut pekerja.
3. Posisikan paver pada jalur rencana
4. LC ditutup plastik
5. Letakan wiremesh M8-175 mm diatas plastik yang telah di beri tahu beton
6. Dowel beserta chair di letakan pada posisi marking dan di pantek. Posisi cat dowel harus seragam dengan panjang cat > 0.5 L pada selongsong.
7. Beton dibawa ke lokasi menggunakan DT.
8. Test slump beton pada lokasi (Slump 3cm).
8. Beton dihampar merata didepan paver.
9. Pada saat beton rigid terbentuk, finish permukaan yang terdapat honeycomb.
10. Pasang mistar dengan menjepitkan mistar pada tulangan stek pada sisi perkerasan untuk membentuk sudut pada beton rigid.
11. Finish permukaan rigid menggunakan ruskam agar kerataan permukaan seragam.
12. Lakukan groving setelah +/- 30menit menggunakan bantuan mistar untuk kelurusan dengan acuan marking dowel tiap 5m.
13. Lakukan penyemprotan curing compound.
14. Lakukan pemotongan setelah 6~12 Jam setelah pengecoran. Pemotongan harus lurus

15. Lakukan penyiraman setelah 12-24 Jam setelah pengecoran lalu tutup plastik dan geotextile di atas plastik.



Gambar 4.10 Site Plan Metode Pelaksanaan

4.2.5 Kekurangan Perkerasan Kaku Konvensional

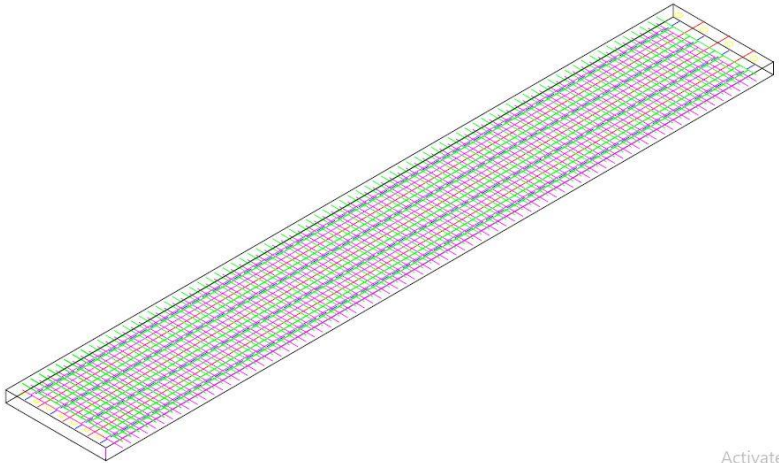
Penggunaan perkerasan kaku merupakan pilihan yang cukup baik, untuk jalan tol yang dilewati oleh beban cukup berat dan kecepatan cukup tinggi, namun perkerasan kaku konvensional memiliki beberapa kekurangan antara lain :

1. Pada prinsipnya, beton tidak bisa menahan tarik. Namun, beton akan mengalami tarik akibat perbedaan suhu. Pada siang hari suhu udara panas, beton mengalami tarik di permukaan atas dan bagian bawah lebih dingin sehingga mengalami tekan. Sebaliknya, pada malam hari di permukaan atas beton mengalami tekan, dan pada bagian bawah mengalami tarik. Disebabkan masalah suhu tersebut yang terjadi setiap hari sehingga retak beton merambat dari bawah ke atas atau sebaliknya.
2. Retakan yang terjadi di beton biasanya diikuti dengan terjadinya rembesan air dan diperparah dengan terjadinya pumping. Itu berarti kegagalan struktur. Hal tersebut sering dialami pada beton untuk pekerjaan jalan dengan sistem konvensional, yang dilaksanakan dengan cor di tempat.

3. Dari segi pelaksanaan membutuhkan waktu yang lama karena dikerjakan secara konvensional sehingga harus menunggu sampai beton mencapai kekuatan rencana (28 hari).
4. Letak kelemahan sistem Konvensional adalah di expansion joint tersebut, dimana silent-nya seringkali lepas keluar akibat adanya tekanan roda kendaraan, yang mempengaruhi tanah dasarnya. Sehingga terjadi rongga dan air bisa merembes masuk pada sambungan tersebut, yang menyebabkan kegagalan beton. Akibat tanah dasarnya tergerus sehingga beton menggantung, dan ketika beton menerima beban maka beton menjadi patah.
5. Faktor kegagalan lainnya pada sistem konvensional, yakni pada saat pengecoran di tempat, dimana truck mixer cenderung naik ke atas lean concrete sehingga lean concrete pecah sebelum di- rigid.
6. Selain itu konsistensi beton dan proses curing sangat tergantung kondisi cuaca di lapangan (terutama suhu) dan bisa terjadi inkonsistensi yang menyebabkan hasil yang kurang baik. Sehingga perkerasan kaku dengan sistem konvensional sangat tergantung dengan cuaca karena menggunakan sistem cor di tempat.

4.3 Perencanaan Perkerasan Kaku Jenis CRCP dengan Metode Precast Prestress

Dalam struktur perkerasan jalan beton jenis CRCP dengan menggunakan precast dan prestress ini menggunakan kabel prestress yang memanjang pada bagian badan panelnya yang memanjang, serta menggunakan tulangan wiremesh pada badannya yang berfungsi untuk handling dan terdapat tulangan continuous sepanjang panel dan akan di teruskan tulangan tersebut menggunakan connecting sambungan mekanis. Dapat dilihat pada gambar 4.10, 4.11 dan 4.12



Gambar 4.11 Panel CRCCP dengan Sistem Pracetak Prategang



Gambar 4.12 Tampak Atas



Gambar 4.13 Tampak Samping

4.3.1 Pembebanan Lalu Lintas

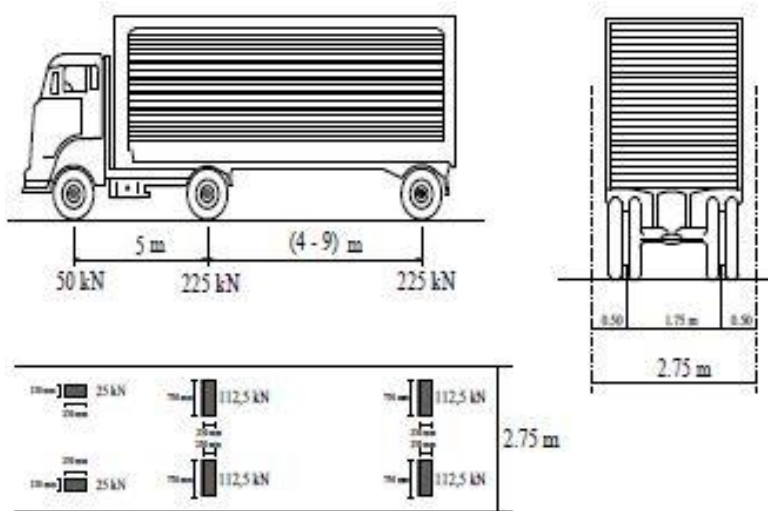
Pada pembebanan lalu lintas ini digunakan beban lajur “D” dan “T”. Untuk perhitungan pembebanan lalu lintas dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a) Beban Lajur “D”
 - Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut:
Jika $L \leq 30$ m ; $q = 9,0$ kPa
 - Beban Garis Terpusat (BGT)

Beban garis terpusat dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m.

b) Beban Truk "T"

Pada beban truk ini digunakan beban kendaraan semi trailer dengan mempunyai jarak As depan = 5 m dan As belakang = 7 m dengan beban pada STRT adalah 225 kN yang ditempatkan pada setiap lajur lalu lintas pada design pelat beton ini dan untuk konfigurasi pembebanan truk dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.14 Pembebanan Truk "T" (500kN)

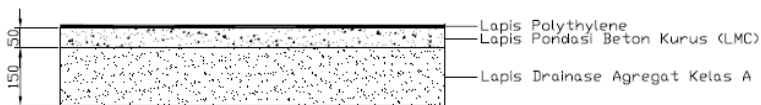
4.3.2 Pondasi Bawah Struktur Perkerasan Beton Pracetak Prategang

Lapisan pondasi bawah pada struktur perkerasan beton pracetak prategang adalah sebagai berikut

a) Pondasi drainase bawah permukaan

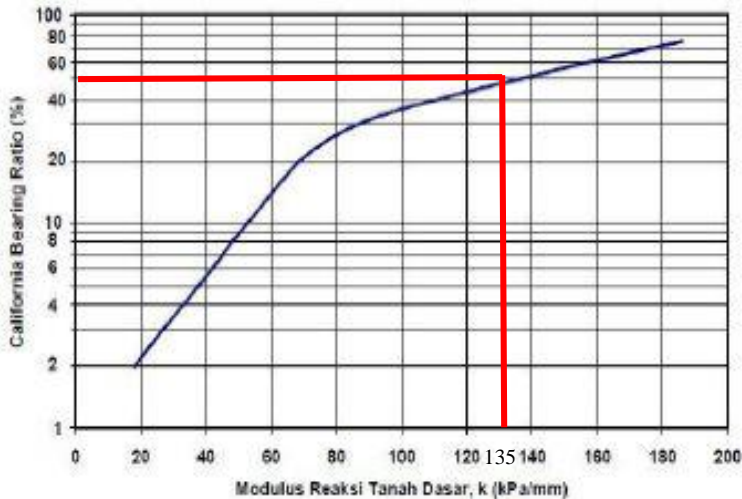
- Menurut (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015) tebal lapis pondasi drainase bawah permukaan bergradasi terbuka dengan tebal 100-150 mm
 - Menurut (American Association Of State Highway And Transportation Officials, 1993) ketebalan lapisan sub base pada umumnya menggunakan ketebalan 6 – 12 inch, tetapi paling sedikit 4 inch dan ada yang menggunakan 18 inch.
- b) Pondasi bawah beton kurus (lean concrete)
Untuk daerah yang jarang terkena hujan dan banjir dapat menggunakan beton kurus (lean concrete) sebagai pondasi bawah dan lantai kerja (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015)
- c) Lapisan polythylene
Sebelum panel dipasang, satu lembar lapisan polythylene dipasang untuk mengurangi kehilangan prestress dan tegangan tarik pada panel. Lapisan polythylene dapat mengurangi resistensi gesekan antara panel dengan lapisan leveling pendukung. (Chang, Chen, & Sangwook, 2004)

Maka direncanakan pondasi bawah struktur perkerasan beton pracetak prategang menggunakan pondasi drainase bawah permukaan dengan ketebalan 150 mm (6 inch) dan ditambahkan pondasi beton kurus dengan tebal 150 mm dan lapisan polythylene diatas lapisan pondasi drainase bawah.



Gambar 4.15 Lapis Pondasi Bawah Struktur Perkerasan Pracetak Prategang

Selanjutnya mencari nilai k (modulus reaksi perkerasan) pada LMC diasumsikan dengan nilai CBR 50% yang kemudian dapat diperoleh nilai k pada grafik hubungan nilai k dan CBR (AUSTROADS, 2004) pada Gambar 4.15



Gambar 4.16 Hubungan antara CBR dan Modulus Reaksi Tanah Dasar

Sumber : (AUSTROADS, 2004)

Dari grafik diatas maka didapat nilai k adalah 135 kPa/mm atau $0,01377 \text{ kg/mm}^3$. Dengan ini maka untuk nilai k digunakan dalam input software SAP2000 dengan perhitungan sebagai tumpuan spring arah vertikal. Pada tumpuan spring ini diasumsikan jarak 500 mm pada sumbu y arah horizontal dengan panel pelat beton berukuran 1800 mm x 12000 mm. Sehingga nilai kekakuan spring (Ks didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{ks tengah} &= 0,01377 \text{ kg/mm}^3 \times (500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}) \\
 &= 3.441,488 \text{ kg/mm} \\
 \text{ks pinggir} &= 0,5 \times 3.441,488 \text{ kg/mm} \\
 &= 1.720,744 \text{ kg/mm} \\
 \text{ks ujung} &= 0,25 \times 3.441,488 \text{ kg/mm} \\
 &= 860,372 \text{ kg/mm}
 \end{aligned}$$

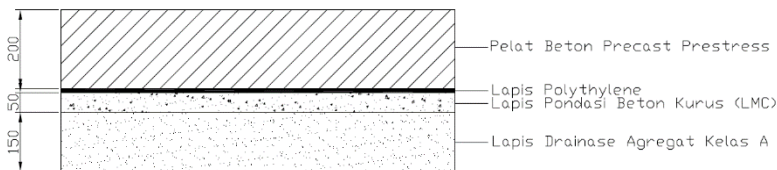
4.3.3 Perhitungan Tebal Perkerasan Jalan

Dari perhitungan pelat beton konvensional yang dilakukan sesuai dengan LHR dan Umur Rencana (UR) 40 tahun. Maka untuk mendapatkan tebal pelat beton pracetak - prategang dapat menggunakan berbagai sumber berikut:

- 40% - 50% dari perkerasan beton semen konvensional (American Association Of State Highway And Transportation Officials, 1993)
- 0,65 tebal beton konvensional (American Concrete Institute Committee 325, 1998)
- 4 inch – 6 inch (Chang, Chen, & Sangwook, 2004)

Maka dari ketiga sumber diatas dipilih hasil yang paling besar yaitu menggunakan rumus yg berasal dari (American Concrete Institute Committee 325, 1998) dengan tebal pelat beton pracetak – prategang:

$$\begin{aligned}
 t &= 0,65 \times \text{Tebal beton konvensional} & (2.11) \\
 &= 0,65 \times 305 \text{ mm} \\
 &= 198,25 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.17 Detail Jalan Perkerasan Beton Precast Prestress

4.3.4 Desain Pelat Beton Pracetak Prategang

Pada desain pelat beton pracetak prategang ini direncanakan menggunakan prategang sistem pascatarik (posttension) pada arah memanjang dan kombinasi tulangan dengan menggunakan weirmesh dan terdapat tulangan menerus. Pada sistem pascatarik ini yang mana gaya prategang di berikan setelah umur beton mengeras dengan kekuatan yang beton yang sudah ditentukan.

Data perencanaan :

a. Spesifikasi Beton

Pada perencanaan ini beton direncanakan sebagai berikut:

- Kuat tekan beton (f_c') = 49,03 MPa
(umur 28 hari) = 500 kg/cm² (K-500)
- Kuat tekan beton (f_{ci}') = 0,9 x 49,03 Mpa
(umur 14 hari) = 44,13 MPa

b. Tegangan ijin beton

Pada tegangan ijin beton ini gaya prategang awal diberikan ketika kuat tekan beton umur 14 hari sebelum adanya beban layanan dan umur 28 hari pada saat adanya beban layanan yang dapat dihitung sebagai berikut :

- Tegangan sesaat setelah penyaluran gaya prategang dan sebelum terjadinya kehilangan gaya prategang sebagai fungsi waktu, tidak boleh melampaui :

$$\begin{aligned} 1. \text{ Tegangan tekan serat terluar} &= 0,6 \times f_{ci}' & (2.12) \\ &= 0,6 \times 44,13 \text{ MPa} \\ &= 26,47 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Tegangan tarik serat terluar} &= 0,5 \sqrt{f_{ci}} & (2.13) \\ &= 0,5 \sqrt{44,13 \text{ MPa}} \\ &= 3,32 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Tegangan pada saat kondisi beban layan (sesudah memperhitungkan semua kehilangan gaya prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui :

$$\begin{aligned} 1. \text{ Tegangan tekan serat terluar akibat gaya prategang,} \\ \text{beban mati dan beban hidup tetap} \\ &= 0,45 \times f_c' & (2.14) \\ &= 0,45 \times 49,03 \\ &= 22,06 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Tegangan tekan serat terluar akibat gaya prategang,} \\ \text{beban mati dan beban hidup total} \\ &= 0,60 \times f_c' & (2.15) \end{aligned}$$

$$= 0,60 \times 49,03$$

$$= 29,41 \text{ MPa}$$

3. Tegangan tarik serat terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekanan

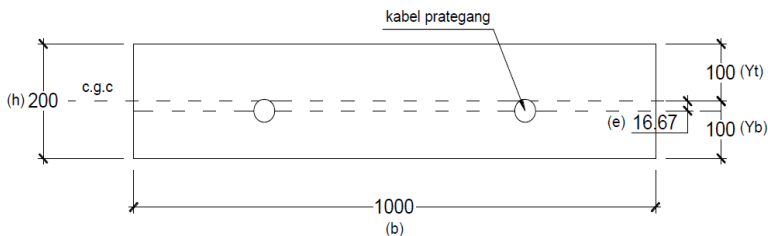
$$= 0,5 \times \sqrt{f_c} \quad (2.16)$$

$$= 0,5 \times \sqrt{49,03}$$

$$= 3,501 \text{ MPa}$$

- c. Desain penampang beton pracetak-prategang

Dalam desain penampang direncanakan untuk badan jalan menggunakan ukuran 1,8 m x 12 m dan 3,6 m x 12 m dan untuk bahu jalan dengan ukuran 1,5 m x 12 m dan 3 m x 12 m dengan tendon terletak dibawah garis netral $\frac{1}{12} h$



Gambar 4.18 Penampang Pelat dan Sistem Pemberian Prategang

Dari gambar 4.16 maka dapat dijabarkan spesifikasi penampang pada pelat pracetak-prategang sebagai berikut :

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

- Lebar (b) = 3600 mm
- Tinggi (h) = 200 mm
- Luasan (A) = $b \times h$ = 720000 mm²
- Inersia (I) = $\frac{1}{12} \times b \times h^3$ = 2400000000 mm⁴
- Eksentrisitas (e) = $\frac{1}{12} \times h$ = 16,67 mm
- Yt = $\frac{1}{2} \times h$ = 100 mm

$$\bullet \quad Y_b = \frac{1}{2} \times h = 100 \text{ mm}$$

4.3.5 Penentuan Gaya Prategang dan Jumlah Strand

Untuk penentuan gaya prategang dan jumlah strand direncanakan menggunakan tendon/kabel jenis 13 mm (0,5") dengan 7 kawat untai tipe ASTM A 416-06 grade 270 (uncoated seven wire stress relieved strand). Dengan mengacu pada brosur dari VSL Indonesia. Jenis dan karakteristik tendon yang akan digunakan dapat dilihat sebagai berikut :

- Nominal diameter (d) = 12,7 mm
- Luas nominal (A_s) = 98,7 mm²
- Minimum breaking load = 183,7 kN = 183700 N
- Tegangan Leleh (f_{py}) = 1675 MPa
- Tegangan Putus (f_{pu}) = 1860 MPa

a. Tegangan baja izin

Tegangan izin baja menurut (Lins & Burns, 2000) dimana tegangan akibat gaya penarikan (jacking) dan setelah transfer gaya tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut:

1. Akibat gaya pendongkrak yang bekerja pada kabel:

$$0,80 \times f_{pu} = 0,80 \times 1860 \text{ MPa} = 1488,0 \text{ MPa} \quad (2.17)$$

$$0,94 \times f_{py} = 0,94 \times 1675 \text{ MPa} = 1574,5 \text{ MPa} \quad (2.18)$$

2. Tendon pratarik segera setelah peralihan gaya prategang atau tendon-tendon pasca tarik setelah penjangkaran/pengangkuran:

$$0,70 \times f_{pu} = 0,70 \times 1860 \text{ MPa} = 1302,0 \text{ MPa} \quad (2.19)$$

Dari perhitungan diatas maka tegangan ijin pada baja prategang (fst) diambil yang terkecil yaitu $f_{st} = 1302,0 \text{ MPa}$

b. Gaya Prategang

Untuk menentukan gaya prategang awal pelat beton dan masing-masing panel, maka gaya prategang awal sebelum kehilangan prategang direncanakan sebagai berikut :

➤ Panel 3,6 m x 12 m

- Jumlah strand rencana (n) = 24 buah
- Luasan total strand (A_{ps}) = $n \times A_s$

$$= 24 \times 98,7 \text{ mm}^2$$

$$= 2368,8 \text{ mm}^2$$

- Gaya Prategang Awal (F_o) = $A_{ps} \times f_{st}$
 $= 2368,8 \text{ mm}^2 \times 1302 \text{ MPa}$
 $= 3084177,6 \text{ N}$
- Tegangan Total (f_s) = $n \times f_{st}$
 $= 24 \text{ buah} \times 1302 \text{ MPa}$
 $= 31248 \text{ MPa}$

Jumlah strand yang digunakan adalah 8 buah. Dengan tipe tendon yang digunakan adalah tipe tendon (0,5") dengan tipe Unit 5-3 dan dengan diameter 35/40 mm sebanyak 8 buah

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.14

Tabel 4.31 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Jumlah Strand dan Tendon

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Jenis Strand	ASTM A 416-06 grade 270	ASTM A 416-06 grade 270	ASTM A 416-06 grade 270	ASTM A 416-06 grade 270
Jumlah Strand	12 buah	24 buah	10 buah	20 buah
Tipe Tendon	13 mm (0,5")	13 mm (0,5")	13 mm (0,5")	13 mm (0,5")
Tipe Unit Tendon	(5-3)	(5-3)	(5-5)	(5-5)
Jumlah Tendon	4 buah	8 buah	2 buah	4 buah

4.3.6 Kontrol Tegangan Pada Tegangan Awal

Tahap kontrol tegangan awal ini dilakukan untuk mengetahui apakah tendon yang terpasang memiliki tegangan yang sesuai dengan kapasitas tegangan ijin beton dalam memikul momen yang terjadi yang di dapatkan pada SAP 2000.

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

- Pada saat transfer tegangan akibat berat sendiri (1DL)
 $M_D = 19,26 \text{ Nmm/m} \times 3,6 \text{ m}$
 $= 69,34 \text{ Nmm}$
- Pada saat beban layan akibat beban sendiri dan beban hidup (1DL+1LL)
 $M_T = 57737310 \text{ Nmm/m} \times 3,6 \text{ m}$
 $= 207854316 \text{ Nmm}$

Kontrol Tegangan

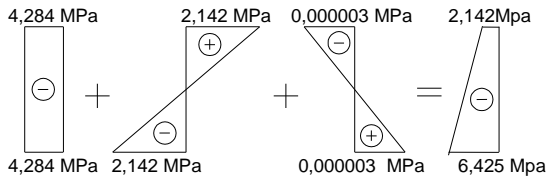
- Pada saat transfer tegangan akibat berat sendiri

Serat Atas :

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e \times Y_t}{I} - \frac{M D_x Y_t}{I} \\ &= -\frac{3084177,6}{720000} + \frac{3084177,6 \times 16,67 \times 100}{2400000000} - \frac{69,34 \times 100}{2400000000} \\ &= -2,142 \text{ MPa (tekan)} < 26,48 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$

Serat Bawah :

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e \times Y_b}{I} + \frac{M D_x Y_b}{I} \\ &= -\frac{3084177,6}{720000} - \frac{3084177,6 \times 16,67 \times 100}{2400000000} + \frac{69,34 \times 100}{2400000000} \\ &= -6,425 \text{ MPa (tekan)} < 26,48 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$



Gambar 4.19 Diagram Tegangan Saat Transfer Tegangan

- Pada saat beban layanan akibat berat sendiri dan beban hidup (1DL+1LL)

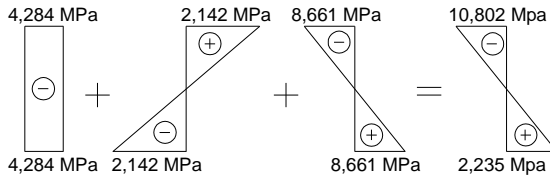
Serat Atas :

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e \times Y_t}{I} - \frac{M T_x Y_t}{I} \\ &= -\frac{3084177,6}{720000} + \frac{3084177,6 \times 16,67 \times 100}{2400000000} - \frac{207854316 \times 100}{2400000000} \\ &= -10,802 \text{ MPa (tekan)} < 29,42 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$

Serat Bawah :

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e \times Y_b}{I} + \frac{M D_x Y_b}{I} \\ &= -\frac{3084177,6}{720000} - \frac{3084177,6 \times 16,67 \times 100}{2400000000} + \frac{207854316 \times 100}{2400000000}\end{aligned}$$

$$= +2,235 \text{ MPa (tarik)} < 3,501 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$



Gambar 4.20 Diagram Tegangan Saat Beban Layanan

4.3.7 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat stressing. Dimana kehilangan gaya prategang yang terjadi sesuai tahapan-tahapan kondisi beban kerja. Kehilangan gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu :

1. Kehilangan Langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

a. Kehilangan akibat perpendekan elastis beton

- Luasan (A_c) $= 720000 \text{ mm}^2$
- Inersia (I_c) $= 2400000000 \text{ mm}^4$
- Luasan total strand (A_{ps}) $= 2368,8 \text{ mm}^2$
- Luasan nominal strand (A_s) $= 98,7 \text{ mm}^2$
- Eksentrisitas (e) $= 16,67 \text{ mm}$
- Tegangan putus strand (f_{pu}) $= 1860 \text{ MPa}$
- Modulus elastisitas beton (E_c) $= 4700 \times \sqrt{f_c}$
 $= 32911,16 \text{ MPa}$
- Modulus elastisitas baja (E_s) $= 200000 \text{ MPa}$
- Rasio modulus elastisitas (n) $= \frac{E_s}{E_c}$

$$= 6,077$$

- Tegangan ijin baja prategang (f_{st}) = 1302 Mpa

$$\begin{aligned} P_i &= \text{jumlah strand} \times A_s \times f_{st} \\ &= 24 \times 98,7 \times 1302 \\ &= 3084177,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_c &= -\frac{P_i}{A_c} - \frac{P_i \times e \times e}{I_c} \\ &= -\frac{3084177,6}{720000} - \frac{3084177,6 \times 16,67 \times 16,67}{2400000000} \\ &= 4,64 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pES} &= 0,5 \times n \times f_c \\ &= 0,5 \times 6,077 \times 4,64 \\ &= 14,1 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pES} (\%) &= \frac{\Delta f_{pES}}{f_s} \times 100\% \\ &= \frac{14,1}{31248} \times 100\% \\ &= 0,05 \% \end{aligned}$$

- b. Kehilangan akibat gesekan kabel tendon (Ps)

- Panjang (L) = 12 m
- Koefisien (K) = 0,0016 – 0,0066 = 0,0066
- Koefisien (μ) = 0,15 – 0,25 = 0,25
- Sudut (α) = 0,033°

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -KL - \mu\alpha$$

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -0,0016 - 0,066 - 0,25 \times 0,033^\circ$$

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -0,088 = 8,8\%$$

$$\Delta f_{pPs} = \frac{F_2 - F_1}{F_1} \times f_s$$

$$= 0,088 \times 31248$$

$$= 2735,24 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pPs} (\%) &= \frac{\Delta f_{pPs}}{f_s} \times 100\% \\ &= \frac{2735,24}{31248} \times 100\% \\ &= 8,75\% \end{aligned}$$

c. Kehilangan akibat slip angkur (ANC)

- Tegangan tendon (f_s) = 1302 MPa
- Modulus elastisitas (E_s) = 200000 MPa
- Panjang (L) = 12 m
- S rata-rata = 2,5 mm

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{f_s}{E_s} \times \\ &= \frac{1302}{200000} \times 12 \end{aligned}$$

$$= 0,07812 \text{ m}$$

$$= 78,12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pANC} &= \frac{S \text{ rata-rata}}{\Delta L} \times f_s \\ &= \frac{2,5}{78,12} \times 31248 \\ &= 1000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pANC} (\%) &= \frac{\Delta f_{pANC}}{f_s} \times 100\% \\ &= \frac{1000}{31248} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 3,20 \%$$

2. Kehilangan tidak langsung

Kehilangan tidak langsung adalah hilangnya gaya awal prategang yang terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat pemberian gaya prategang), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut :

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

a. Kehilangan akibat rangkai beton (CR)

- Luas penampang (A) = 720000 mm²
- Momen inersia = 2400000000 mm⁴
- Eksentrisitas (e) = 16,67 mm
- Gaya prategang awal (Fo) = 3084177,6 N
- Modulus elastisitas (Es) = 200000 MPa
- Modulus elastisitas (Ec) = 4700 x $\sqrt{f_c}$
= 32911,16 MPa
- Y = 100 mm
- Koefisien rangkai (Kcr) = 1,6 (Post tension)
- M_T = 2,13 x 10⁸ Nmm

$$f_{ci} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e \times Y}{I}$$

$$= \frac{3084177,6}{200000} + \frac{3084177,6 \times 16,67 \times 100}{666666666,7}$$

$$= 6,425 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{M_T \times e}{I}$$

$$= \frac{207854316 \times 16,67}{2400000000}$$

$$= 1,443 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_p \text{ CR} = K_{cr} \times \frac{E_s}{E_c} \times (f_{ci} - f_{cd})$$

$$= 1,6 \times \frac{200000}{32911,16} \times (6,425 - 1,443)$$

$$= 48,440 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_p \text{ CR} (\%) &= \frac{\Delta f_p \text{ CR}}{f_s} \times 100\% \\ &= \frac{48,440}{31248} \times 100\% \\ &= 0,16 \% \end{aligned}$$

b. Kehilangan akibat susut beton (SH)

- Kelembaban (RH) = 75 %
- Koefisien susut (Ksh) = 0,69 (14 hari)
- Volume beton (V) = 7200 cm³
- Modulus elastisitas (Es) = 200000 MPa
- Luas permukaan (S) = 720 cm²

$$\varepsilon_{sh} = 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (100 - RH)$$

$$\varepsilon_{sh} = 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{7200}{720} \right) (100 - 75)$$

$$= 0,000082$$

$$\begin{aligned} \Delta f_p \text{ SH} &= \varepsilon_{sh} \times K_{sh} \times E_s \\ &= 0,000082 \times 0,69 \times 200000 \\ &= 11,381 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta f_p \text{ SH (\%)} &= \frac{\Delta f_p \text{ SH}}{f_s} \times 100\% \\
 &= \frac{11,381}{31248} \times 100\% \\
 &= 0,04 \text{ \%}
 \end{aligned}$$

c. Kehilangan akibat relaksasi baja (RE)

- Koefisien relaksasi (Kre) = 35
- Faktor waktu (J) = 0,04
- Faktor relaksasi (C) = 0,75
- Kehilangan akibat susut (SH) = 11,381 MPa
- Kehilangan akibat rangkai (CR) = 48,440 MPa
- Kehilangan akibat relaksasi (ES) = 14,100 MPa

$$\begin{aligned}
 \Delta f_p \text{ RE} &= C \times (Kre - J \times (SH + CR + ES)) \\
 &= 0,75 \times (35 - 0,04 \times (11,381 + 48,440 + 14,100)) \\
 &= 24,032 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta f_p \text{ RE (\%)} &= \frac{\Delta f_p \text{ RE}}{f_s} \times 100\% \\
 &= \frac{24,032}{31248} \times 100\% \\
 &= 0,08 \text{ \%}
 \end{aligned}$$

Total Kehilangan Prategang

$$\begin{aligned}
 \Delta f_p &= \Delta f_p \text{ ES} + \Delta f_p \text{ Ps} + \Delta f_p \text{ ANC} + \Delta f_p \text{ CR} + \Delta f_p \text{ SH} + \Delta f_p \text{ RE} \\
 &= 14,100 + 2735,35 + 1000 + 48,440 + 11,381 + 24,032 \\
 &= 3833,196 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta f_p \text{ (\%)} &= \frac{3833,196}{31248} \times 100\% \\
 &= 12,27 \text{ \%}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.15

Tabel 4.32 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Prategang

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Tegangan total (fs)	15624 Mpa	31248 Mpa	13020 Mpa	26040 Mpa
Kehilangan akibat perpendekan elastis beton (ES)	14,1 Mpa	14,1 Mpa	14,1 Mpa	14,1 Mpa
Kehilangan akibat gesekan kabel tendon (Ps)	1367,621 Mpa	2735,24 Mpa	1139,684 Mpa	2279,37 Mpa
Kehilangan akibat slip angkur (ANC)	500 Mpa	1000 Mpa	416,667 Mpa	833,33 Mpa
Kehilangan akibat rangkai beton (CR)	48,140 Mpa	48,44 Mpa	48,592 Mpa	48,503 Mpa
Kehilangan akibat susut beton (SH)	11,316 Mpa	11,382 Mpa	11,316 Mpa	11,316 Mpa
Kehilangan akibat relaksasi baja (RE)	24,043 Mpa	24,032 Mpa	24,030 Mpa	24,032 Mpa
Kehilangan total	1965,221 Mpa	3832,83 Mpa	1657,388 Mpa	3210,653 Mpa
Presentase kehilangan total	12,58%	12,27%	12,71%	12,33%

4.3.8 Kontrol Pelat Pratekan

4.3.8.1. Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

- Gaya prategang awal (F_o) = 3084177,6 N
- Gaya prategang efektif (F_{eff}) = $(100 - \%fp) \times F_o$
 $= (100 - 12,27) \times 3084177,6$
 $= 2705841,169 \text{ N}$
- Eksentrisitas (e) = 16,67
- Luas permukaan (A) = 720000 mm²
- Inersia (I) = 24000000000 mm⁴
- M_D = 69,336 Nmm
- M_T = 207854316 Nmm
- Y_t = 100 mm
- Y_b = 100 mm

A. Tegangan pada saat kondisi beban belum bekerja (pada saat transfer) sebelum kehilangan prategang.

Serat Atas :

$$\sigma_t = \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e \times Y_t}{I} - \frac{M_D \times Y_t}{I}$$

$$= -\frac{3084177,6}{720000} + \frac{3084177,6 \times 16,67 \times 100}{2400000000} - \frac{69,336 \times 100}{2400000000}$$

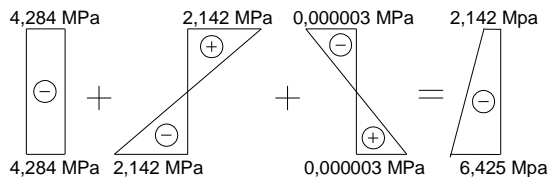
$$= -2,142 \text{ MPa (tekan)} < 26,48 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Serat Bawah :

$$\sigma_b = \frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e \times Y_b}{I} + \frac{M D_x Y_b}{I}$$

$$= -\frac{3084177,6}{720000} - \frac{3084177,6 \times 16,67 \times 100}{2400000000} + \frac{69,336 \times 100}{2400000000}$$

$$= -6,425 \text{ MPa (tekan)} < 26,48 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$



Gambar 4.21 Diagram Tegangan Saat Transfer Tegangan dan Sebelum Kehilangan Prategang

B. Tegangan pada saat kondisi beban belum bekerja (pada saat transfer) setelah kehilangan prategang.

Serat Atas :

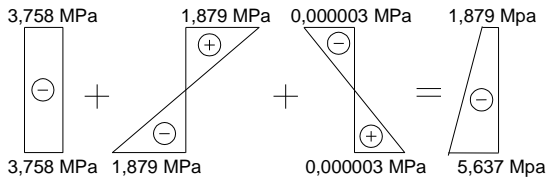
$$\sigma_t = \frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e \times Y_t}{I} - \frac{M D_x Y_t}{I}$$

$$= -\frac{2705841,169}{720000} + \frac{705877,267 \times 16,67 \times 100}{2400000000} - \frac{69,336 \times 100}{2400000000}$$

$$= -1,879 \text{ MPa (tekan)} < 26,48 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Serat Bawah :

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e \times Y_b}{I} + \frac{M D_x Y_b}{I} \\ &= -\frac{2705841,169}{720000} - \frac{705877,267 \times 16,67 \times 100}{2400000000} + \frac{69,336 \times 100}{2400000000} \\ &= -5,637 \text{ MPa (tekan)} < 26,48 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$



Gambar 4.22 Diagram Tegangan Saat Transfer Tegangan dan Setelah Kehilangan Prategang

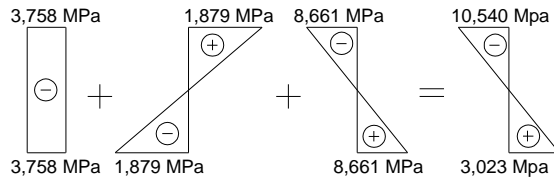
C. Tegangan pada saat kondisi beban bekerja dan setelah kehilangan prategang.

Serat Atas :

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e \times Y_t}{I} - \frac{M T_x Y_t}{I} \\ &= -\frac{2705841,169}{720000} + \frac{705877,267 \times 16,67 \times 100}{2400000000} - \frac{207854316 \times 100}{2400000000} \\ &= -10,540 \text{ MPa (tekan)} < 26,48 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$

Serat Bawah :

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e \times Y_b}{I} + \frac{M T_x Y_b}{I} \\ &= \frac{2705841,169}{720000} - \frac{705877,267 \times 16,67 \times 100}{2400000000} + \frac{207854316 \times 100}{2400000000} \\ &= +3,023 \text{ (tarik)} < 3,50 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$



Gambar 4.23 Diagram Tegangan Saat Beban Layanan dan Setelah Kehilangan Prtegang

4.3.8.2. Kontrol Lendutan

Kemampuan layanan struktur beton prategang ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Karena beton prategang memiliki dimensi yang lebih lansing dibanding dengan beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layanan yang disyaratkan. Lendutan yang diijinkan pada pelat beton pracetak – prategang ini berdasarkan SNI 2847:2013 lendutan maksimal adalah $\frac{1}{240} \times l$. Dalam perhitungan lendutan pada beban layanan pada pelat beton akibat beban truk “T” dan beban lajur “D” maka dari output analisa SAP2000 didapatkan lendutan sebagai berikut:

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

$$\Delta L = 9,18 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \dots\dots(\text{OK})$$

1. Perhitungan Lendutan Jangka Panjang (3,6 m x 12 m)

Data Perkerasan :

- Tebal Pakerasan (h) = 200 mm
- Dimensi Panel = 3600 mm x 12000 mm

Lendutan yang terjadi :

Dari hasil perhitungan SAP2000, maka didapatkan Lendutan sebagai berikut :

- Lendutan Beban Mati
(Δ_i)_{DL} = 1,47 mm
- Lendutan Beban Hidup

$$(\Delta i)_{LL} = 3,12 \text{ mm}$$

Perhitungan Lendutan Jangka Panjang (Umur Rencana) :
Berdasarkan SNI 2847:2013 untuk durasi lebih dari 5 tahun
Digunakan $\xi = 2$

Lendutan yang terjadi dapat ditentukan dengan rumus :

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{Lendutan Total}} &= (\Delta i)_{LL} \times \xi + (\Delta i)_{DL} \times \xi \\ &= 3,12 \times 2 + 1,47 \times 2 \\ &= 9,18 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 lendutan yang dihitung berdasarkan ketentuan tidak boleh melebihi batasan yang ditetapkan yaitu $l/240 = 50 \text{ mm}$

Kontrol :

$$\Delta_{LT} \leq 50 \text{ mm}$$

$$9,18 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \dots\dots(\text{OK})$$

Dari kontrol perhitungan lendutan jangka panjang diatas maka perhitungan umur rencana (UR) yang direncanakan adalah 5 tahun atau lebih.

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.33 Rekapitulasi Kontrol Lendutan

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Kontrol Lendutan	9,78 mm < 50 mm	9,18 mm < 50 mm	10,28 mm < 50 mm	15,08 mm < 50 mm
Keterangan	OKE	OKE	OKE	OKE

4.3.8.3. Kontrol Momen Nominal

Kontrol penampang dilakukan untuk mengetahui kekuatan batas penampang rencana apakah mampu menahan momen ultimate (M_u) yang terjadi. nilai momen nominal (M_n) yang terjadi bergantung pada desain penampang sehingga $\phi M_n > M_u$ dengan nilai $\phi = 0,9$. Nilai M_n dapat dihitung sebagai berikut:

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

$$\begin{aligned}
 A_{ps} &= 2368,8 \text{ mm}^2 \\
 F_{pu} &= 1860 \text{ MPa} \\
 \gamma_p &= 0,4 \text{ (SNI 2847:2013 18.7)} \\
 \beta_1 &= 0,8 \text{ (SNI 2847:2013 10.2.7.3)} \\
 \rho_p &= \frac{A_{ps}}{b \times d_p} \\
 &= \frac{2368,8}{3600 \times 116,67} \\
 &= 0,0056 \\
 f_{ps} &= f_{pu} \times \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \times \rho_p \times \frac{f_{pu}}{f'c}\right) \\
 f_{ps} &= 1860 \times \left(1 - \frac{0,4}{0,8} \times 0,0056 \times \frac{1806}{49}\right) \\
 &= 1661,032 \text{ MPa} \\
 a &= \frac{A_{ps} \times f_{ps}}{0,85 \times b \times f_c} \\
 a &= \frac{789,6 \times 1661,032}{0,85 \times 3600 \times 49} \\
 &= 26,224 \text{ MPa} \\
 M_n &= A_{ps} \times f_{ps} \times \left(d_p - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 2368,8 \times 1661,032 \times \left(116,67 - \frac{26,224}{2}\right) \\
 &= 407452084,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol momen nominal :

$$\phi M_n > M_u$$

$$0,9 \times 407452084,6 \text{ Nmm} > 207854316 \text{ Nmm}$$

$$366706876,2 \text{ Nmm} > 207854316 \text{ Nmm} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4.34 Rekapitulasi Kontrol Momen Nominal

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Kontrol Momen Nominal	183353438,1 Nmm > 207854316 Nmm	366706876,2 Nmm > 207854316 Nmm	152794531,7 Nmm > 207854316 Nmm	305589063,5 Nmm > 207854316 Nmm
Keterangan	OKE	OKE	OKE	OKE

4.3.8.4. Kontrol Momen Retak

Perhitungan kuat ultimate dari beton prategang harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 18.8.2 mengenai jumlah total baja tulangan non prategang dan prategang harus cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1,2 kali beban retak (M_{cr}) yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar $f_r = 0,62 \sqrt{f_c'}$, sehingga didapat kontrol momen retak harus $\emptyset M_n > 1,2 M_{cr}$ dengan nilai $\emptyset = 0,9$. Nilai momen retak (M_{cr}) dapat dihitung sebagai berikut :

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

$$\begin{aligned} F_r &= 0,62 \sqrt{f_c'} \\ &= 0,62 \times \sqrt{49} \\ &= 4,34 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{se} &= 0,8 \times (\text{jumlah tendon} \times A_s \times f_{st}) \\ &= 0,8 \times (24 \times 98,7 \times 1302,00) \\ &= 2467342,08 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_b &= 1/6 \times b \times h^2 \\ &= 1/6 \times 3600 \times 200^2 \\ &= 24000000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$e = 16,67 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_c &= b \times h \\ &= 3600 \times 200 \\ &= 720000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \left(f_r + \frac{P_{se}}{A_c} \right) \times S_b + (P_{se} \times e) \\ &= \left(4,34 + \frac{2467342,08}{720000} \right) \times 24000000 + (2467342,08 \times 16,667) \\ &= 227562438 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol momen retak :

$$\emptyset M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$0,9 \times 407452084,6 \text{ Nmm} > 1,2 \times 227562438 \text{ Nmm}$$

$$366706876,2 > 273074925,6 \text{ Nmm} \dots\dots\dots(\text{OK})$$

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.18

Tabel 4.35 Rekapitulasi Kontrol Momen Retak

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Kontrol	183353438,1 >	366706876,2 >	152794531,7 >	305589063,5 >
Momen Retak	273074925,6 Nmm	273074925,6 Nmm	273074925,6 Nmm	273074925,6 Nmm
Keterangan	OKE	OKE	OKE	OKE

4.3.8.5. Perhitungan Kait Pengangkat (*Lifting Point*)

Dalam pemasangan panel pelat beton pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Pada perhitungan ini dihitung pada panel ukuran 1,8 m x 12 m dan 3,6 m x 12 m dengan delapan titik pengangkatan (*eight point pick up*).

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

- Panjang (b) = 12 m
- Lebar (a) = 3,6 m
- Tebal (t) = 0,2 m
- Y_c = 0,1 m
- Berat jenis beton = 2400 kg/m³
- f_y = 3900 kg/cm²
- f_c' = 49 MPa

Perhitungan tulangan angkat

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j.
- Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 50 cm
- Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ($k=1,2$) pada saat pengangkatan.

$$\begin{aligned}
 \text{Dead load} &= t \times b \times l \times \text{berat jenis beton} \\
 &= 0,2 \text{ m} \times 3,6 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/cm}^3 \\
 &= 20736 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Ultimate} &= k \times 1,4 \times \text{dead load} \\
 &= 1,2 \times 1,4 \times 20736 \text{ kg} \\
 &= 34836,48 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya angkat tiap tulangan} &= \frac{\text{Beban ultimate}}{\text{Jumlah titik angkat}} \\
 &= \frac{34836,48}{8} = 4354,56 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Sesuai PPBI pasal 2.2.2 tegangan tarik ijin baja :

$$\sigma_{tarik \text{ ijin}} = \frac{fy}{1,5} = \frac{3900}{1,5} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing \text{ Tul. angkat} = \sqrt{\frac{\text{gaya angkat tiap tulangan}}{2600 \times \pi}} = \sqrt{\frac{4354,56}{2600 \times \pi}} = 7,30 \text{ mm}$$

Jadi tulangan angkat digunakan $\varnothing 8 \text{ mm}$

Kontrol tulangan angkat

- Tegangan ijin untuk pengangkatan dengan asumsi usia beton saat pengangkatan adalah umur 3 hari

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= 0,4 \times f_c' \\
 &= 0,4 \times 49 \\
 &= 19,613 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_r &= 0,62 \times \sqrt{f_{ci}} \\
 &= 0,62 \times \sqrt{19,613} \\
 &= 2,746 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan ijin untuk pengangkatan dengan asumsi usia beton saat pengangkatan adalah umur 28 hari

$$\begin{aligned}
 f_r &= \frac{0,62 \times \sqrt{f_c}}{SF} \\
 &= \frac{0,62 \times \sqrt{49}}{1,5} \\
 &= 2,89 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Dengan menggunakan 8 titik angkat, maka momen maksimum diperhitungkan berdasarkan arah x dan y :

$$\begin{aligned}
 W &= 1,2 \times 0,2 \times 2400 \text{ kg/cm}^3 \\
 &= 576 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$M_x = 0,0054 \times w \times a^2 \times b$$

$$= 0,0054 \times 576 \times 3,6^2 \times 12$$

$$= 483,729 \text{ kgm}$$

$$\text{My} = 0,0027 \times w \times a \times b^2$$

$$= 0,0027 \times 576 \times 3,6 \times 12^2$$

$$= 806,216 \text{ kgm}$$

$$P = \frac{Dult}{8}$$

$$= \frac{34836,48}{8}$$

$$= 4354,56 \text{ kg}$$

- My ditahan oleh penampang selebar $a/2 = 3600/2 = 1800 \text{ mm}$

$$\text{My} = \frac{p \times Yc}{tg \alpha}$$

$$= \frac{4354,56 \times 100}{tg 90}$$

$$= 0 \text{ kgm}$$

$$\text{Mtot} = 806,216 + 0$$

$$= 806,216 \text{ kgm}$$

$$= 7900913,664 \text{ Nmm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times \frac{a}{2} \times t^2$$

$$= \frac{1}{6} \times \frac{3600}{2} \times 200^2$$

$$= 6000000 \text{ mm}^3$$

$$ft = fb$$

$$= \frac{\text{Mtot}}{Z}$$

$$= \frac{7900913,664}{6000000}$$

$$= 1,317 \text{ MPa}$$

Kontrol :

$$f_t < f_r$$

$$1,317 < 2,746 \dots\dots(OK)$$

- Mx ditahan oleh penampang :

$$15 \times \text{tebal} = 15 \times 200 = 3000 \text{ mm , atau}$$

$$b/4 = 12000/4 = 3000 \text{ mm}$$

Sehingga diambil yang terkecil adalah 3000 mm

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{p \times Y_c}{tg \alpha} \\ &= \frac{4354,56 \times 100}{tg 90} \\ &= 0 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tot} &= 483,729 + 0 \\ &= 483,729 \text{ kgm} \\ &= 4740548,198 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{6} \times \frac{b}{2} \times t^2 \\ &= \frac{1}{6} \times \frac{12000}{2} \times t^2 \\ &= 20000000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_t &= f_b \\ &= \frac{M_{tot}}{Z} \\ &= \frac{4740548,198}{20000000} \\ &= 0,237 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$F_t < f_r$$

$$0,237 < 2,746 \dots\dots(OK)$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times t^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 12000 \times 200^3$$

$$= 8000000000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Mcr} &= \frac{fr \times Ig}{yt} \\ &= \frac{2,746 \times 8000000000}{yt} \\ &= 219663051,3 \text{ Nmm} \\ &= 22414,597 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$M_x < M_{cr}$

483,729 Kgm < 22414,597 Kgm(OK)

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4.36 Rekapitulasi Tulangan Angkat

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Tulangan Angkat	Ø6	Ø8	Ø6	Ø8

4.3.8.6. Kontrol Tegangan Saat Penumpukan

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

Penumpukan dilakukan dengan 3 tumpuan pada saat umur 3 hari, sehingga asumsi usia beton menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 adalah :

$$\begin{aligned} f_{ci} \text{ (3 hari)} &= 0,46 \times 49 \text{ Mpa} \\ &= 22,54 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_r &= 0,7 \times \sqrt{22,54} \\ &= 3,3 \text{ Mpa} \\ &= 33 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

Pada saat penumpukan ditambahkan koefisien beban = 1,2 sehingga berat sendiri pelat

$$Qd = 1,2 (0,20 \times 3,6 \times 2400) = 2073,6 \text{ kg/m}$$

$$Pu = 1,6 \times 250 \text{ kg} = 400 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{6} \times b \times h^2 \\ &= \frac{1}{6} \times 360 \times 20^2 \\ &= 24000 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,6 L &= 0,6 \times 12 \text{ m} \\ &= 7,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M.lap &= \left(\frac{1}{10} \times Qd \times 0,5L^2 \right) + (0,25 \times Pu \times 0,5L) \\ &= \left(\frac{1}{10} \times 2073,6 \times 0,5 \times 12^2 \right) + (0,25 \times 400 \times 0,5 \times 12) \\ &= 2166,24 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,2

$$\begin{aligned} M.lap &= 2166,24 \times 1,2 \\ &= 2599,488 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M.tump &= \left(\frac{1}{8} \times Qd \times 0,6 L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 2166,24 \times 0,6 \times 12^2 \right) \\ &= 2332,8 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Faktor kejut = 1,2

$$\begin{aligned} M.tump &= 2332,8 \times 1,2 \\ &= 2799,36 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Kontrol Tegangan

$$\begin{aligned} \sigma_{lap} &= \frac{M.lap}{W} \\ &= \frac{2599,488 \times 100}{12000} \\ &= 10,83 \text{ kg/cm}^2 < f_r \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{tump} &= \frac{M.tump}{W} \\ &= \frac{2799,36 \times 100}{12000} \\ &= 11,66 \text{ kg/cm}^2 < f_r \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

- Kontrol Jumlah Penumpukan

Digunakan penyangga dari kayu 4/6

$$\begin{aligned} \text{Luas bidang kontak, } A &= 0,024 \times 3 \text{ balok kayu} \\ &= 0,72 \text{ m}^2 \\ &= 72000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 1,2 (0,2 \text{ m} \times 2400 \times 12 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}) + 1,6 (250 \text{ kg}) \\ &= 25283,2 \text{ kg} \\ &= 252832 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{252832}{72000} \\ &= 0,35 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Penumpukan} = \frac{f r}{f \times SF}$$

$$= \frac{3}{0,32 \times 3}$$

$$= 3,2 \approx 3 \text{ tumpukan}$$

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.37 Rekapitulasi Jumlah Penumpukan

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Jumlah Penumpukan	6 Tumpukan	3 Tumpukan	7 Tumpukan	3 Tumpukan

4.3.9 Perhitungan Kebutuhan Tulangan

Momen yang harus ditanggung untuk perhitungan tulangan yang dibutuhkan adalah $M_u - 25\% \phi M_n$. Karena sebagian sudah ditanggung dalam baja prategang.

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

- Tebal perkerasan (h) = 200 mm
- Selimut beton (d') = 40 mm
- Ukuran panel (a x b) = 3600 mm x 12000 mm
- Kuat tekan beton (f_c') = 49,033 MPa
- Kuat leleh baja (f_y) = 400 MPa
- Asumsi tulangan (ϕ) = 10 mm
- M_u arah x = 207854316 MPa
- M_u arah y = 166085496 MPa
- M_n = 366706876 MPa

a. Tulangan melintang

$$\begin{aligned} M_u &= M_u \text{ arah x} - 25\% \phi M_n \\ &= 207854316 \text{ MPa} - (25\% \times 366706876 \text{ MPa}) \\ &= 74408776,96 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka perhitungan tulangan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,008 \times (f_c' - 30 \text{ MPa}) \\ &= 0,85 - 0,008 \times (49,033 - 30 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

$$= 0,698$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,698 \times 49,033}{f_y} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0436\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0436 \\ &= 0,0327\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 49,033} \\ &= 9,597\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}dx &= h - d' - 1/2\emptyset \\ &= 200 - 40 - (1/2 \times 10) \\ &= 159,95 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mn \text{ perlu} &= \frac{Mu}{\emptyset} \\ &= \frac{207854316}{0,8} \\ &= 259817895 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{Mn \text{ perlu}}{\emptyset \times b \times dx^2} \\ &= \frac{259817895}{0,8 \times 3600 \times 159,95^2} \\ &= 3,526 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m \times R n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{9,597} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,597 \times 3,526}{400}} \right) \\
 &= 0,009
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 < 0,009 < 0,0301$$

Yang dipakai adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,009$ (diantara ρ_{min} dan ρ_{max})

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0,009 \times 3600 \times 159,95 \\
 &= 5310,936 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan Ø10 mm As tul = 78,54 mm²

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Tul. (n)} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul}} \\
 &= \frac{4203,092}{78,5} \\
 &= 67,66 \approx 68 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak Tul. (S)} &= \frac{3600}{n} \\
 &= \frac{3600}{68} \\
 &= 52,9 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan Ø10 mm – 50 mm

b. Tulangan memanjang

$$\begin{aligned}
 \text{Mu} &= \text{Mu total} - 25\% \text{ ØMn} \\
 &= 166085496 \text{ MPa} - (25\% \times 366706876 \text{ MPa}) \\
 &= 74408776,96 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Maka perhitungan tulangan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,008 \times (f_c' - 30 \text{ MPa}) \\
 &= 0,85 - 0,008 \times (49,033 - 30 \text{ MPa}) \\
 &= 0,698
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,698 \times 49,033}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0436\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0436 \\ &= 0,0327\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 49,033} \\ &= 9,597\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d_x &= h - d' - 1/2\emptyset \\ &= 200 - 40 - (1/2 \times 10) \\ &= 159,95 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mn perlu} &= \frac{Mu}{\emptyset} \\ &= \frac{66085496}{0,8} \\ &= 207606870 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{Mn \text{ perlu}}{\emptyset \times b \times d_x^2} \\ &= \frac{207606870}{0,8 \times 3600 \times 159,95^2} \\ &= 2,817 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right)$$

$$= \frac{1}{9,597} \times (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,597 \times 2,817}{400}})$$

$$= 0,007$$

Kontrol :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,007 < 0,0327$$

Yang dipakai adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,007$ (diantara ρ_{\min} dan ρ_{\max})

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,007 \times 3600 \times 159,95 \\ &= 4203,092 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan Ø10 mm As tul = 78,54 mm²

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Tul. (n)} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As tul}} \\ &= \frac{4203,092}{78,54} \\ &= 53,54 \approx 54 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tul. (S)} &= \frac{3600}{n} \\ &= \frac{3600}{54} \\ &= 66,667 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga dipakai tulangan Ø10 mm – 50 mm

Jadi, rekapitulasi tulangan yang digunakan pada Tabel 4.21 sebagai berikut

Tabel 4.38 Rekapitulasi Tulangan Konvensional

No	Tipe Tulangan	Tulangan
1	Memanjang	D10-50
2	Melintang	D10-50

Dalam pelaksanaan pekerjaan struktur perlu dilakukan perhitungan konversi besi tulangan batangan konvensional ke besi wire mesh, salah satu alasannya adalah untuk mempercepat proses

pelaksanaan pekerjaan. Berikut ini perhitungan konversi besi tulangan ke wire mesh

Data Lantai

- Tulangan konvensional plat lantai = D10-50
- Mutu tulangan deform (f_yd) = 4000 kg/cm²
- Mutu tulangan wiremesh (f_yw) = 5000 kg/cm²

Perhitungan Konversi Tulangan ke Wire Mesh

- Luas tulangan konvensional

$$\begin{aligned} A_s &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times \frac{1000}{\text{Jarak}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times \frac{1000}{50} \\ &= 1570 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Luas tulangan wire mesh yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} A_s \text{ butuh} &= A_s \times \left(\frac{f_yd}{f_yw} \right) \\ &= 1570 \times \left(\frac{4000}{5000} \right) \\ &= 1256 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Luas tulangan wire mesh
Direncanakan menggunakan wire mesh M12-75

$$\begin{aligned} A_s W &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times \frac{1000}{\text{Jarak}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 12^2 \times \frac{1000}{75} \\ &= 1507,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s W > A_s \text{ butuh} = 1507,2 \text{ mm}^2 > 1256 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

Jadi penggunaan besi batangan D10-50 bisa diganti dengan besi wiremesh M12-75

- Luas tulangan wire mesh sisa

$$\begin{aligned} A_s W \text{ sisa} &= +A_s w - A_s \text{ Butuh} \\ &= 1507 - 1256 \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pada perhitungan diatas kita lihat ada kelebihan tulangan wiremesh sebesar 251,2 mm². Tidak jadi masalah karena nilai tersebut terbilang kecil jika dibanding dengan penghematan tenaga kerja dan waktu pelaksanaan

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.22

Tabel 4.39 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tulangan

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Tulangan Utama	M12-75	M12-75	M12-75	M12-75

4.3.10 Perhitungan Tulangan Menerus

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

- Tebal pelat = 20 cm
- Lebar pelat = 3,6 m
- Kuat tekan beton (f_c') = 500 kg/cm²
- Tegangan leleh baja (f_y) = 3900 kg/cm²
- Angka ekivalensi (n) = 6
- Koefisien gesek (μ) = 1,3
- Kuat tarik lentur beton (f_{ct}) = 40 kg/cm²
- Kuat tarik langsung beton (f_{ct}) = 0,5 x f_{cf}
= 20 kg/cm²

a) Tulangan Memanjang

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{100 \times f_{ct} \times [1,3 - (0,2 \times \mu)]}{(1,25 \times f_y) - n \times f_{ct}} \\ &= \frac{100 \times 20 \times [1,3 - (0,2 \times 1,3)]}{(1,25 \times 3900) - (6 \times 20)} \end{aligned}$$

$$= 0,437 \%$$

$$\text{As perlu} = 0,437\% \times 100 \times 20 = 8,749 \text{ cm}^2$$

$$\text{As min} = 0,6 \% \times 100 \times 20 = 12 \text{ cm}^2/m' > \text{As perlu}$$

$$\text{Dicoba tulangan } \varnothing 16 \text{ mm jarak } 150 \text{ mm (As} = 13,39 \text{ cm}^2/m')$$

b) Pengecekan jarak teoritis antar retakan

$$\bullet \text{ U} = 4/d = 4/1,6$$

$$= 2,5$$

$$\bullet \text{ P} = \frac{\text{luas tulangan memanjang}}{\text{luas penampang beton}}$$

$$= \frac{13,397}{100 \times 20}$$

$$= 0,0067$$

$$\bullet \text{ fb} = 1,97 \sqrt{f c'}$$

$$= 1,97 \sqrt{500}$$

$$= 27,532 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bullet \text{ } \epsilon_s = 4 \times 10^{-6}$$

$$\bullet \text{ Ec} = 14850 \sqrt{f c'}$$

$$= 14850 \sqrt{500}$$

$$= 332056,095 \text{ kg/cm}^2$$

Dikontrol terhadap jarak teoritis antar retakan (L_{cr})

$$L_{cr} = \frac{f c t^2}{n \times p^2 \times u \times f b (\epsilon_s \times E_c - f c t)}$$

$$= \frac{20^2}{6 \times 0,0067^2 \times 2,5 \times 27,532 (4 \times 10^{-6} \times 332056,095 - 20)}$$

$$= 191,32 \text{ cm}$$

$$= L_{cr \text{ min}} (150 \text{ cm}) > L_{cr} > L_{cr \text{ maks}} (250 \text{ cm})$$

Jadi tulangan memanjang digunakan $\varnothing 16$ mm jarak 150 mm

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.23

Tabel 4.40 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tulangan Menerus

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Tulangan Menerus	Ø16 -150	Ø16 -150	Ø16 -150	Ø16 -150

4.3.11 Perencanaan Sambungan

4.3.11.1 Sambungan Melintang Antar Panel

Sambungan melintang antar panel digunakan jenis sambungan lidah alur (shear key) yang mempunyai perkuatan pada lidah sambungan. Pada sambungan ini harus diberi perekat epoksi pada pelat beton agar terjaga kelekatan antar panel ketika dipasang.

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

$$\text{Gaya geser (V)} = 449,67 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,62 \times \sqrt{f_c} \times t \times l \\ &= 0,62 \times \sqrt{49,033} \times 72 \times 1000 \\ &= 312586,002 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

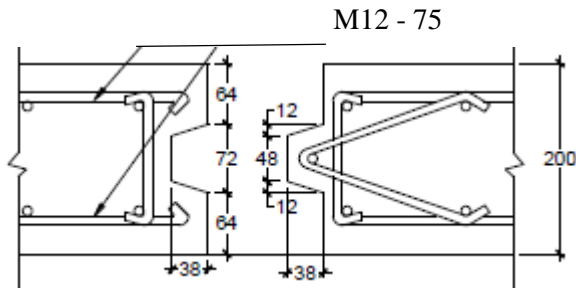
$$\begin{aligned} V &< \phi \times V_c \\ 449,67 \text{ N/mm} &< 0,75 \times 312586,002 \text{ N/mm} \\ 449,67 \text{ N/mm} &< 234440 \text{ N/mm} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.24

Tabel 4.41 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Sambungan Lidah

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Tebal Sambungan Lidah	72 mm	72 mm	72 mm	72 mm
Kontrol	553,31 N/mm < 234440 N/mm	449,67 N/mm < 234440 N/mm	309,35 N/mm < 234440 N/mm	567,99 N/mm < 234440 N/mm
Keterangan	OKE	OKE	OKE	OKE

Untuk melihat detail ukuran sambungan dapat dilihat pada gambar 4.24



Gambar 4.24 Detail Sambungan Lidah Alur

4.3.11.2 Sambungan Antar Tulangan Menerus

Sambungan antar tulangan menerus direncanakan menggunakan sambungan mekanis coupler kategori *Tension Compression Mechanical Connections* yaitu memiliki fungsi gabungan dimana tulangan mengalami tegangan tarik dan tekan. Jenis yang digunakan adalah *Coupler for Thread-Deformed Bars Reinforcing*. Sambungan mekanis diharapkan dapat mengembangkan tarik atau tekan, seperti diisyaratkan pada SNI 2847:2013 yaitu paling sedikit sebesar $1,25 f_y$, yaitu sebesar 500 Mpa.

4.3.11.3 Sambungan Tulangan Melintang

Sambungan ini digunakan untuk menghubungkan antar panel melintang dengan menggunakan tulangan

➤ Panel 3600 mm x 12000 mm

$$\begin{aligned} dx &= h - d' - 1/2\phi \\ &= 200 - 40 - (1/2 \times 16) \\ &= 159,968 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan minimum (As)} &= 0,002 \times b \times dx \\ &= 0,002 \times 1000 \times 159,968 \\ &= 319,937 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan $\phi 16$ mm As tulangan

$$= 3,14 \times 8 \times 8$$

$$= 200,96 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{\text{As Perlu}}{\text{As Tulangan}}$$

$$= \frac{319,937}{200,96}$$

$$= 1,59 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak Tulangan} = \frac{1000}{\text{Jumlah tulangan (n)}}$$

$$= \frac{1000}{2 \text{ buah}}$$

$$= 500 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang Tulangan} = \frac{1}{4} \times \text{lebar pelat}$$

$$= \frac{1}{4} \times 3600$$

$$= 900 \text{ mm}$$

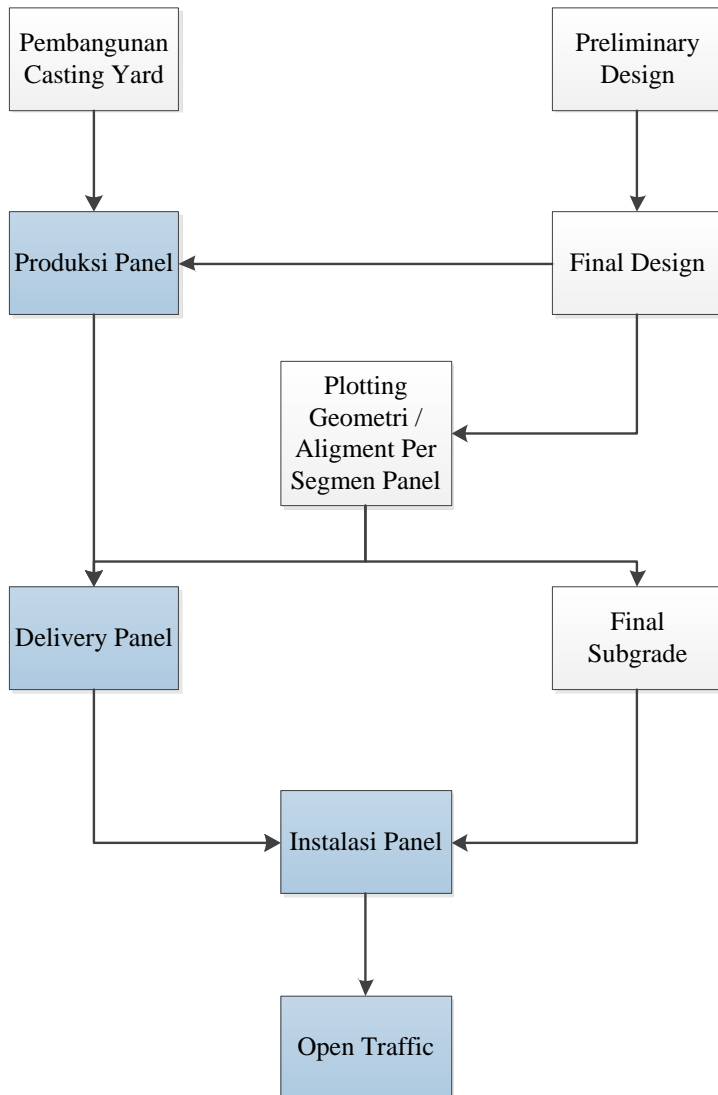
Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.25

Tabel 4.42 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Sambungan Tulangan Melintang

Panel	1800 mm x 12000 mm	3600 mm x 12000 mm	1500 mm x 12000 mm	3000 mm x 12000 mm
Sambungan Tulangan Melintang	Ø16 -500	Ø16 -500	Ø16 -500	Ø16 -500
Panjang Tulangan	450 mm	900 mm	375 mm	750 mm

4.3.12 Metode Pelaksanaan

Dalam pelaksanaan pekerasan jalan beton jenis CRCP dengan metode precast prestress memiliki beberapa tahapan – tahapan pekerjaan. Alur tahapan pekerjaan dalam proses mulai tahap persiapan, produksi dan sampai tahap instalasi di lokasi proyek dapat dilihat pada bagan 4.1



Bagan 4.1 Alur Pelaksanaan

Produksi Panel

Pada tahap produksi panel ada pun tahap – tahap dalam pelaksanaannya, yaitu :

a. Setting Mould (Cetakan)

- Persiapan dan Pembersihan mould
Pembersihan mould menggunakan compressor
- Setting mould
Setting mould sesuai dimensi 1,8 m x 12 m atau 3,6 m x 12 m. Lakukan kontrol dimensi mould : tegak lurus mould, sudut mould dan jarak diagonal mould, jarak longitudinal & transversal mould
- Mould oiling
Mould oiling pada seluruh permukaan bawah dan samping mould

b. Install Accessories

- Install pembesian
Instal pembesian dengan menggunakan wiremesh 2 lapis dengan ukuran M12-75 mm dan tulangan D16-150 untuk tulangan menerus nya
- Install duct post-tension
Instal ducting post-tension 5 buah/panel dengan diameter 35/40 mm. Ducting dimasukan pipa pvc untuk menjamin kelurusannya
- Install titik angkat
Install titik angkat (8 titik) & pemasangan block out titik angkat.

c. Pouring Concrete

- Pengecoran beton
Pengecoran beton ready mix K500 dengan tinggi nilai slump ± 12 cm

- Finishing
Pembuatan grofing pada precast panel arah melintang panel. Grofing dibuat dengan ukuran 3 mm x 3 mm
- Pembuatan Benda Uji
Pembuatan benda uji sebanyak 12 buah tiap casting bed

d. Steam Curing & Strand Release

- Pemasangan terpal uap
Setelah finishing, dipasang rangka dan terpal uap
- Steam curing
Steam curing dengan suhu rata rata 70°C
- Test benda uji
setelah pendinginan, dilakukan compressive strength test pada benda uji untuk mengetahui mutu beton pada panel

e. Handling Panel

- Pengangkatan ke stockyard
Panel dipindahkan ke stockyard dengan menggunakan gantry crane lalu diberi label produk
- Final inspection
Dilakukan inspeksi dimensi produk, kondisi produk dan accesoris nya. Kemudian panel yang memenuhi syarat diberi tanda.
- Loading ke atas truck
Panel dinaikan ke atas truck trailer
- Delivery panel
Pengiriman panel ke lokasi install sesuai kebutuhan yang diperlukan
- Unloading panel
Proses bongkar panel dari truck pengangkut di lokasi install

f. Install Panel

- Pembersihan permukaan LC
Pembersihan lahan pada permukaan lean concrete untuk menghindari adanya kotoran yang dapat mengurangi kerataan antara panel dengan lean concrete
- Menggelar plastik
Pemasangan plastik di permukaan lean concrete untuk mengurangi friction antara panel dengan permukaan lean concrete pada saat terjadi muai susut
- Memasukan strand
Proses memasukan strand kedalam lobang-lobang tendon
- Mengoleskan Epoxy
Setelah panel tersusun segera dilakukan aplikasi lem epoxy pada permukaan sambungan panel

g. Stressing

- Merapatkan panel
Setelah epoxy dipaliskasikan dengan sempurna segera kemudian kedua panel dieratkan dengan menggunakan tackle untuk mengikat antar panel dan mengunci posisi panel sesuai koordinat yang ditentukan.
- Stressing
Post tension dilakukan stressing sesuai tegangan yang telah direncanaan
- Sambungan antar tulangan menerus
Sambungan menggunakan sambungan mekanis. Perakitan komponen sambungan mekanis dilakukan dengan tenaga putaran/ torsi, alat yang digunakan adalah kunci pas torsi hidrolik . Nilai torsi berkisar 1500 - 3000 ft-lb (2032 - 4065 Nm) untuk Ø14 sampai Ø18.

h. Grouting

- Grouting pocket tulangan menerus, stressing dan lifting
Dilakukan grouting pocket yaitu lubang pada permukaan panel bertujuan untuk penyempurnaan permukaan jalan

i. Open Traffic

Badan jalan siap untuk dilakukan open traffic, konstruksi badan jalan siap untuk dilewati kendaraan dengan sequence 3 hari setelah pekerjaan grouting selesai

4.4 Rencana Anggaran Biaya

Anggaran biaya pada perencanaan jalan Tol Solo-Ngawi berdasarkan Harga Satuan Pokok Provinsi Jawa Timur tahun 2018

4.4.1. Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Tabel 4.43 Analisa HSPK Pembersihan Lapangan

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
1	Pembersihan Lapangan dan Perataan		m ²		
	<u>Upah:</u>				
	Kepala Tukang / Mandor	0,05040819	OH	Rp171.000	Rp8.620
	Pembantu Tukang	0,10096276	OH	Rp145.000	Rp14.640
				Nilai HSPK	Rp23.259

Tabel 4.44 Analisa HSPK Galian Tanah Dasar

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
2	Galian Tanah Dasar		m²		
	<u>Upah:</u>				
	Kepala Tukang / Mandor	0,007	OH	Rp171.000	Rp1.197
	Pembantu Tukang	0,226	OH	Rp145.000	Rp32.770
				Jumlah	Rp33.967
	<u>Sewa Peralatan:</u>				
	Dump truck 5 Ton	0,067	jam	Rp69.200	Rp4.636
	Excavator 6 m ³	0,067	jam	Rp138.400	Rp9.273
				Jumlah	Rp13.909
				Nilai HSPK	Rp47.876

Tabel 4.45 Analisa HSPK Agregat Lapis Podasi Atas (LPA)
Kelas A

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
3	Agregat Lapis Pondasi Atas (LPA) Kelas A		m²		
	<u>Upah:</u>				
	Kepala Tukang / Mandor	0,0086	OH	Rp171.000	Rp1.471
	Pembantu Tukang	0,06	OH	Rp145.000	Rp8.700
				Jumlah	Rp10.171
	<u>Bahan/Material:</u>				
	Agregat Kelas A	1,2586	m ³	Rp256.000	Rp322.202
				Jumlah	Rp322.202
	<u>Sewa Peralatan:</u>				
	Sewa Truk Tangki Air min 5 jam	0,0141	hari	Rp527.000	Rp7.431
	Asewa Dump Truk 5 Ton	0,5043	jam	Rp70.000	Rp35.301
	Sewa Tandem Roller	0,0107	jam	Rp292.200	Rp3.127
	Sewa Motor Grader	0,0094	jam	Rp304.400	Rp2.861
	Sewa Wheel Loader 1,7 - 2 m ³	0,0085	jam	Rp633.100	Rp5.381
				Jumlah	Rp54.101
				Nilai HSPK	Rp64.272

Tabel 4.46 Analisa HSPK Lantai Kerja K-100

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
4	Lantai Kerja K-100		m²		
	Upah:				
	Kepala Tukang / Mandor	0,0086	OH	Rp171.000	Rp1.471
	Tukang	0,2017892	OH	Rp156.000	Rp31.479
	Pembantu Tukang	0,06	OH	Rp145.000	Rp8.700
	Jumlah				Rp41.650
	Bahan/Material:				
	Semen PC 40 Kg	8,15	zak	Rp58.500	Rp476.775
	Pasir Cor	0,480625	m ³	Rp272.500	Rp130.970
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0,5415789	m ³	Rp278.000	Rp150.559
	Biaya Air	215	liter	Rp6	Rp1.290
	Jumlah				Rp759.594
	Nilai HSPK				Rp801.244

Tabel 4.47 Analisa HSPK Pekerjaan Pembesian Wire Mesh

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
5	Pekerjaan Pembesian Wire Mesh		m²		
	Upah:				
	Kepala Tukang / Mandor	0,0025204	OH	Rp171.000	Rp431
	Tukang	0,0025224	OH	Rp156.000	Rp393
	Pembantu Tukang	0,0025241	OH	Rp145.000	Rp366
	Jumlah				Rp1.190
	Bahan/Material:				
	Kawat Beton	0,005	Kg	Rp26.900	Rp135
	Wiremesh	1,02	m ²	Rp193.000	Rp196.860
	Jumlah				Rp196.995
	Nilai HSPK				Rp198.185

Tabel 4.48 Analisa HSPK Pekerjaan Pembesian Dengan Besi Beton (Polos/Ulir)

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
6	Pekerjaan Pembesian Dengan Besi Beton (polos/ulir)		Kg		
	<u>Upah:</u>				
	Kepala Tukang / Mandor	0,0007057	OH	Rp171.000	Rp121
	Tukang	0,0070626	OH	Rp156.000	Rp1.102
	Pembantu Tukang	0,0070674	OH	Rp145.000	Rp1.025
				Jumlah	Rp2.247
	<u>Bahan/Material:</u>				
	Besi Beton Polos	1,05	Kg	Rp13.500	Rp14.175
	Kawat Beton	0,015	Kg	Rp26.900	Rp404
				Jumlah	Rp14.579
				Nilai HSPK	Rp16.826

Tabel 4.49 Analisa HSPK Pekerjaan Pemasangan Kabel Prestressed (Polos/Strand)

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
7	Pekerjaan Pemasangan Kabel Prestressed Polos/strand		Kg		
	<u>Upah:</u>				
	Kepala Tukang / Mandor	0,0005041	OH	Rp171.000	Rp86
	Tukang	0,0050447	OH	Rp156.000	Rp787
	Pembantu Tukang	0,0050481	OH	Rp145.000	Rp732
				Jumlah	Rp1.605
	<u>Bahan/Material:</u>				
	Besi Beton Polos	1,05	Kg	Rp13.500	Rp14.175
	Kawat Beton	0,01	Kg	Rp26.900	Rp269
				Jumlah	Rp14.444
				Nilai HSPK	Rp16.049

Tabel 4.50 Analisa HSPK Pekerjaan Bekisting Untuk Pelat Beton Pracetak (5 kali Penggunaan)

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
8	Pekerjaan Bekisting Untuk Pelat Beton Pracetak (5 kali pemakaian)		Kg		
	Upah:				
	Mandor	0,001	OH	Rp171.000	Rp171
	Kepala Tukang	0,008	OH	Rp171.000	Rp1.368
	Tukang Kayu	0,076	OH	Rp156.000	Rp11.856
	Pembantu Tukang	0,007	OH	Rp145.000	Rp1.015
				Jumlah	Rp14.410
	Bahan/Material:				
	Lantai Kerja tebal 10 cm	0,008	m3	Rp801.244	Rp6.410
	Besi Hollow (50x50x3) mm	9,394	kg	Rp7.900	Rp74.213
	Kaso 5/7 (lebar 5 cm, tinggi 7 cm)	0,005	m3	Rp4.899.900	Rp24.500
	Phenol film 12 mm	0,08	lbr	Rp245.000	Rp19.600
	Minyak Bekisting	0,2	lbr	Rp30.100	Rp6.020
	Dinabolt ø12 (10 s.d 15) cm	3,882	bh	Rp2.500	Rp9.705
				Jumlah	Rp140.447
				Nilai HSPK	Rp154.857

Tabel 4.51 Analisa HSPK Upah Pemasangan dan Buka Bekisting 1 Buah Komponen Untuk Pelat Pracetak

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
9	Upah pemasangan dan Buka bekisting 1 buah Komponen untuk pelat pracetak		Unit		
	Upah:				
	Kepala Tukang / Mandor	0,053	OH	Rp171.000	Rp9.063
	Tukang Kayu	0,018		Rp156.000	Rp2.808
	Pembantu Tukang	0,005	OH	Rp145.000	Rp725
				Nilai HSPK	Rp12.596

Tabel 4.52 Analisa HSPK Campuran Beton K-500

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
10	Campuran Beton K-500		Kg		
	Upah:				
	Mandor	0,105	OH	Rp171.000	Rp17.955
	Kepala Tukang	0,035	OH	Rp171.000	Rp5.985
	Tukang Kayu	0,35	OH	Rp156.000	Rp54.600
	Pembantu Tukang	2,1	OH	Rp145.000	Rp304.500
	Jumlah				Rp383.040
	Bahan/Material:				
	Semen / PC (50 kg)	12	m3	Rp58.500	Rp702.000
	Pasir beton	0,4169	kg	Rp272.500	Rp113.605
	Koral beton 1/2 cm	0,5263	m3	Rp278.000	Rp146.311
	Air	215	lbr	Rp6	Rp1.290
	Jumlah				Rp963.207
	Nilai HSPK				Rp1.346.247

Tabel 4.53 Upah Tuang / Tebar Beton 1 Buah Komponen Untuk Pelat Pracetak

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
11	Upah Tuang/Tebar beton 1 buah komponen untuk pelat pracetak		unit		
	Upah:				
	Mandor	0,073	OH	Rp171.000	Rp12.483
	Kepala Tukang	0,034	OH	Rp171.000	Rp5.814
	Tukang vibrator	0,128	OH	Rp156.000	Rp19.968
	Tukang batu	0,244	OH	Rp156.000	Rp38.064
	Pembantu Tukang	0,064	OH	Rp145.000	Rp9.280
				Nilai HSPK	Rp85.609

Tabel 4.54 Analisa HSPK Ereksi 1 buah Komponen Pelat Pracetak (1,8 m x 12 m)

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
12	Ereksi 1 buah komponen pelat pracetak		Unit		
	Upah:				
	Mandor	0,067	OH	Rp171.000	Rp11.457
	Kepala Tukang	0,067	OH	Rp171.000	Rp11.457
	Tukang Batu	0,067	OH	Rp156.000	Rp10.452
	Tukang Ereksi	0,134	OH	Rp156.000	Rp20.904
	Pembantu Tukang	0,067	OH	Rp145.000	Rp9.715
	Pembantu Operator Crane	0,067	OH	Rp111.248	Rp7.454
	Operator Crane	0,067	OH	Rp194.684	Rp13.044
				Jumlah	Rp84.482
	Bahan/Material:				
	Sewa crane	0,067	Unit/hr	Rp12.433.333	Rp833.033
	Solar	6,676	L	Rp6.450	Rp43.060
	Epoxy	2,5	kg	Rp70.000	Rp175.000
	Lembaran plastik	75,6	m2	Rp5.000	Rp378.000
				Jumlah	Rp1.429.094
				Nilai HSPK	Rp1.513.576

Tabel 4.55 Analisa HSPK Ereksi 1 buah Komponen Pelat
Pracetak (3,6 m x 12 m)

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
13	Ereksi 1 buah komponen pelat pracetak		Unit		
	<u>Upah:</u>				
	Mandor	0,067	OH	Rp171.000	Rp11.457
	Kepala Tukang	0,067	OH	Rp171.000	Rp11.457
	Tukang Batu	0,067	OH	Rp156.000	Rp10.452
	Tukang Ereksi	0,134	OH	Rp156.000	Rp20.904
	Pembantu Tukang	0,067	OH	Rp145.000	Rp9.715
	Pembantu Operator Crane	0,067	OH	Rp111.248	Rp7.454
	Operator Crane	0,067	OH	Rp194.684	Rp13.044
				Jumlah	Rp84.482
	<u>Bahan/Material:</u>				
	Sewa crane	0,067	Unit/hr	Rp12.433.333	Rp833.033
	Solar	6,676	L	Rp6.450	Rp43.060
	Epoxy	2,5	kg	Rp70.000	Rp175.000
	Lembaran plastik	97,2	m2	Rp5.000	Rp486.000
				Jumlah	Rp1.537.094
				Nilai HSPK	Rp1.621.576

Tabel 4.56 Analisa HSPK Langsir 1 Buah Komponen Pelat
Pracetak

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
14	Langsir 1 Buah Komponen Pelat Pracetak		Unit		
	<u>Upah:</u>				
	Tukang Batu	0,019	OH	Rp156.000	Rp2.964
	Pembantu Tukang	0,038	OH	Rp145.000	Rp5.510
	Pembantu Operator Crane	0,019	OH	Rp111.248	Rp2.114
	Operator Crane	0,019	OH	Rp194.684	Rp3.699
				Jumlah	Rp14.287
	<u>Bahan/Material:</u>				
	Sewa crane	0,019	Unit/hr	Rp12.433.333	Rp236.233
	Solar	1,897	L	Rp6.450	Rp12.236
				Jumlah	Rp248.469
				Nilai HSPK	Rp262.756

Tabel 4.57 Analisa HSPK Grouting Lubang

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
15	Grouting lubang		Unit		
	<u>Upah:</u>				
	Mandor	0,105	OH	Rp171.000	Rp17.955
	Tukang	0,35	OH	Rp156.000	Rp54.600
				Jumlah	Rp72.555
	Bahan/Material:				
	Semen Grouting 25 kg				
	Ex sika	15	Zak	Rp100.000	Rp1.500.000
	Material Bantu	0,4169	ls	Rp1.500	Rp625
	Air	215	Liter	Rp6	Rp1.290
				Jumlah	Rp1.501.915
				Nilai HSPK	Rp1.574.470

Tabel 4.58 Analisa HSPK Sambungan Mekanis

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
16	Sambungan mekanis		Unit		
	<u>Upah:</u>				
	Tukang	0,007	OH	Rp156.000	Rp1.092
	Pembantu Tukang	0,007	OH	Rp145.000	Rp1.015
				Jumlah	Rp2.107
	Bahan/Material:				
	Sambungan coupler	1	Unit	Rp14.000	Rp14.000
	Material Bantu	1	ls	Rp1.500	Rp1.500
				Jumlah	Rp15.500
				Nilai HSPK	Rp17.607

Tabel 4.59 Analisa HSPK Stressing

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
17	Streessing		Unit		
	<u>Upah:</u> Pekerja Stressing mono jack	4	Titik	Rp156.000	Rp624.000
				Jumlah	Rp624.000
	Bahan/Material: Kabel Strand 0,5"	74,4	Kg	Rp12.500	Rp930.000
	Angkur hidup mono 0,5"	4	bh	Rp190.158	Rp760.632
				Jumlah	Rp1.690.632
				Nilai HSPK	Rp2.314.632

Tabel 4.60 Campuran Beton K-350

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
18	Campuran Beton K-350		m3		
	<u>Upah:</u> Mandor	0,0352857	OH	Rp171.000	Rp6.034
	Tukang	0,3531321	OH	Rp156.000	Rp55.089
	Pembantu Tukang	2,1202179	OH	Rp145.000	Rp307.432
				Jumlah	Rp368.554
	Bahan/Material: Semen / PC (40 kg)	11,2	m3	Rp58.500	Rp655.200
	Pasir beton	0,4169	kg	Rp272.500	Rp113.605
	Koral beton 1/2 cm	0,5263	m3	Rp278.000	Rp146.311
	Air	215	lbr	Rp6	Rp1.290
				Jumlah	Rp916.407
				Nilai HSPK	Rp1.284.961

Tabel 4.61 Analisa HSPK Panel (1,8 m x 12 m)

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
1	Panel (1,8 m x 12 m)		Unit		
	Pekerjaan Pembesian Wire Mesh	43,2	m ²	Rp198.185	Rp8.561.591
	Pekerjaan Pembesian Dengan Besi Beton (polos/ulir)	21,10	Kg	Rp16.826	Rp355.036
	Ducting	48	m'	Rp132.500	Rp6.360.000
	Pekerjaan Pemasangan Kabel Prestressed Polos/strand	111,6	kg	Rp16.049	Rp1.791.085
	Pekerjaan Bekisting Untuk Pelat Beton Pracetak (5 kali pemakaian)	21,6	m ²	Rp154.857	Rp3.344.912
	Upah pemasangan dan Buka bekisting 1 buah Komponen untuk pelat pracetak	1	Unit	Rp12.596	Rp12.596
	Campuran Beton K-500	4,32	Kg	Rp1.346.247	Rp5.815.786
	Upah Tuang/Tebar beton 1 buah komponen untuk pelat pracetak	1	unit	Rp85.609	Rp85.609
				Jumlah	Rp26.326.615

Tabel 4.62 Analisa HSPK Panel (3,6 m x 12 m)

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
2	Panel (3,6 m x 12 m)		Unit		
	Pekerjaan Pembesian Wire Mesh	86,4	m ²	Rp198.185	Rp17.123.182
	Pekerjaan Pembesian Dengan Besi Beton (polos/ulir)	42,20	Kg	Rp16.826	Rp710.072
	Ducting	48	m'	Rp132.500	Rp6.360.000
	Pekerjaan Pemasangan Kabel Prestressed Polos/strand	223,2	kg	Rp16.049	Rp3.582.170
	Pekerjaan Bekisting Untuk Pelat Beton Pracetak (5 kali pemakaian)	43,2	m ²	Rp154.857	Rp6.689.825
	Upah pemasangan dan Buka bekisting 1 buah Komponen untuk pelat pracetak	1	Unit	Rp12.596	Rp12.596
	Campuran Beton K-500	8,64	Kg	Rp1.346.247	Rp11.631.571
	Upah Tuang/Tebar beton 1 buah komponen untuk pelat pracetak	1	unit	Rp85.609	Rp85.609
				Jumlah	Rp46.195.025

Tabel 4.63 Analisa HSPK Panel (1,5 m x 12 m)

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
3	Panel (1,5 m x 12 m)		Unit		
	Pekerjaan Pembesian Wire Mesh	36	m ²	Rp198.185	Rp7.134.659
	Pekerjaan Pembesian Dengan Besi Beton (polos/ulir)	17,58	Kg	Rp16.826	Rp295.863
	Ducting	24	m'	Rp132.500	Rp3.180.000
	Pekerjaan Pemasangan Kabel Prestressed Polos/strand	93	kg	Rp16.049	Rp1.492.571
	Pekerjaan Bekisting Untuk Pelat Beton Pracetak (5 kali pemakaian)	18	m ²	Rp154.857	Rp2.787.427
	Upah pemasangan dan Buka bekisting 1 buah Komponen untuk pelat pracetak	1	Unit	Rp12.596	Rp12.596
	Campuran Beton K-500	3,6	Kg	Rp1.346.247	Rp4.846.488
	Upah Tuang/Tebar beton 1 buah komponen untuk pelat pracetak	1	unit	Rp85.609	Rp85.609
				Jumlah	Rp19.835.213

Tabel 4.64 Analisa HSPK Panel (3 m x 12 m)

NO	URAIAN KEGIATAN	KOEF	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
4	Panel (3 m x 12 m)		Unit		
	Pekerjaan Pembesian Wire Mesh	72	m ²	Rp198.185	Rp14.269.318
	Pekerjaan Pembesian Dengan Besi Beton (polos/ulir)	35,17	Kg	Rp16.826	Rp591.727
	Ducting	48	m'	Rp132.500	Rp6.360.000
	Pekerjaan Pemasangan Kabel Prestressed Polos/strand	186	kg	Rp16.049	Rp2.985.142
	Pekerjaan Bekisting Untuk Pelat Beton Pracetak (5 kali pemakaian)	36	m ²	Rp154.857	Rp5.574.854
	Upah pemasangan dan Buka bekisting 1 buah Komponen untuk pelat pracetak	1	Unit	Rp12.596	Rp12.596
	Campuran Beton K-500	7,2	Kg	Rp1.346.247	Rp9.692.976
	Upah Tuang/Tebar beton 1 buah komponen untuk pelat pracetak	1	unit	Rp85.609	Rp85.609
				Jumlah	Rp39.572.221

4.4.2. RAB Perkerasan Kaku Konvensional

Tabel 4.65 RAB Perkerasan Kaku Konvensional MDP 2016

NO	URAIAN KEGIATAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
I	Pekerjaan Persiapan				
1	Pembersihan Lapangan	1297440	m2	23.259	Rp30.177.676.831
Jumlah					Rp30.177.676.831
II	Pekerjaan Tanah				
1	Perbaikan Tanah Dasar	28080	m3	47.876	Rp1.344.363.696
2	Lapis Pondasi Agregat kelas A	316251	m3	64.272	Rp20.325.941.959
Jumlah					Rp21.670.305.655
III	Pekerjaan Pondasi				
1	Lean Mix Concrete	316251	m3	801.244	Rp253.394.204.195
Jumlah					Rp253.394.204.195
IV	Pekerjaan Perkerasan Jalan				
1	Beton K-350	643043,7	m3	1.284.961	Rp826.285.887.898
2	Pembesian Wire Mesh	2108340	m2	198.185	Rp417.841.315.041
Jumlah					Rp1.244.127.202.939
V	Pekerjaan Sambungan				
1	Sambungan Tie bar	103949	Kg	16826	Rp1.749.016.072
2	Sambungan Dowel	70061	Kg	16.826	Rp1.178.826.300
Jumlah					Rp1.178.826.300
TOTAL BIAYA					Rp1.550.548.215.920

Biaya perkerasan kaku konvensional per meter adalah
Rp 17.209.192

Tabel 4.66 RAB Perkerasan Kaku Konvensional AASHTO

NO	URAIAN KEGIATAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
I	Pekerjaan Persiapan				
1	Pembersihan Lapangan	2108340	m2	23.259	Rp49.038.724.851
Jumlah					Rp49.038.724.851
II	Pekerjaan Tanah				
1	Perbaikan Tanah Dasar	28080	m3	47.876	Rp1.344.363.696
Jumlah					Rp1.344.363.696
III	Pekerjaan Pondasi				
1	Lean Mix Concrete	210834	m3	801.244	Rp168.929.469.463
Jumlah					Rp168.929.469.463
IV	Pekerjaan Perkerasan Jalan				
1	Beton K-500	527085	m3	1.346.247	Rp709.586.415.515
2	Pembesian Wire Mesh	2108340	m2	198.185	Rp417.841.315.041
Jumlah					Rp1.127.427.730.556
V	Pekerjaan Sambungan				
1	Sambungan Tie bar	113601	Kg	16826	Rp1.911.417.857
2	Sambungan Dowel	88671	Kg	16.826	Rp1.491.952.824
Jumlah					Rp1.491.952.824
TOTAL BIAYA					Rp1.348.232.241.390

Biaya perkerasan kaku konvensional per meter adalah
Rp 14.963.742

4.4.3. RAB Perkerasan Kaku Jenis CRCP Dengan Metode Precast Prestress (1,8 m x 12 m)

Tabel 4.67 RAB Panel (1,8 m x 12 m)

NO	URAIAN KEGIATAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
I	Pekerjaan Persiapan				
1	Pembersihan Lapangan	2108340	m2	23.259	Rp49.038.724.851
Jumlah					Rp49.038.724.851
II	Pekerjaan Tanah				
1	Perbaikan Tanah Dasar	28080	m3	47.876	Rp1.344.363.696
2	Lapis Pondasi Agregat kelas A	316251	m3	64.272	Rp20.325.941.959
Jumlah					Rp21.670.305.655
III	Pekerjaan Pondasi				
1	Lean Mix Concrete	105417	m3	801.244	Rp84.464.734.732
Jumlah					Rp84.464.734.732
IV	Pekerjaan Panel				
1	Panel (1,8 m x 12 m)	60072	Unit	26.326.615	Rp1.581.492.409.147
2	Panel (1,5 m x 12 m)	15018	Unit	19.835.213	Rp297.885.232.354
3	Panel (3 m x 12 m)	15018	Unit	39.572.221	Rp594.295.622.018
4	Langsir 1 Buah Komponen Pelat Pracetak	75090	Unit	262.756	Rp19.730.324.387
5	Ereksi 1 buah komponen pelat pracetak	75090	Unit	1.513.576	Rp113.654.418.461
6	Pekerjaan Stressing	75090	Unit	1.384.632	Rp103.972.016.880
7	Grouting lubang	38629	m3	1.574.470	Rp60.820.686.861
Jumlah					Rp2.771.850.710.108
V	Pekerjaan Sambungan				
1	Sambungan Mekanis	931116	Unit	17.607	Rp16.394.159.412
2	Tulangan Sambungan Melintang	1348145	kg	16.826	Rp22.683.501.257
Jumlah					Rp39.077.660.669
TOTAL BIAYA					Rp2.966.102.136.014

Biaya perkerasan kaku jenis CRCP dengan metode precast prestress plan pemasangan (1,8 m x 12 m) per meter adalah Rp 32.920.112

4.4.4. RAB Perkerasan Kaku Jenis CRCP Dengan Metode Precast Prestress (3,6 m x 12 m)

Tabel 4.68 RAB Panel (3,6 m x 12 m)

NO	URAIAN KEGIATAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
I	Pekerjaan Persiapan				
1	Pembersihan Lapangan	1297440	m2	23.259	Rp30.177.676.831
	Jumlah				Rp30.177.676.831
II	Pekerjaan Tanah				
1	Perbaikan Tanah Dasar	28080	m3	47.876	Rp1.344.363.696
2	Lapis Pondasi Agregat kelas A	316251	m3	64.272	Rp20.325.941.959
	Jumlah				Rp21.670.305.655
III	Pekerjaan Pondasi				
1	Lean Mix Concrete	105417	m3	801.244	Rp84.464.734.732
	Jumlah				Rp84.464.734.732
IV	Pekerjaan Panel				
1	Panel (3,6 m x 12 m)	30036	Unit	46.195.025	Rp1.387.513.763.767
2	Panel (1,5 m x 12 m)	15018	Unit	19.835.213	Rp297.885.232.354
3	Panel (3 m x 12 m)	15018	Unit	39.572.221	Rp594.295.622.018
4	Langsir 1 Buah Komponen Pelat Pracetak	45054	Unit	262.756	Rp11.838.194.632
5	Ereksi 1 buah komponen pelat pracetak	45054	Unit	1.621.576	Rp73.058.483.077
6	Pekerjaan Stressing	45054	Unit	1.384.632	Rp62.383.210.128
7	Grouting lubang	18095	m3	1.574.470	Rp28.489.864.391
	Jumlah				Rp2.455.464.370.366
V	Pekerjaan Sambungan				
1	Sambungan mekanis	1111332	Unit	17.607	Rp19.567.222.524
2	Tulangan Sambungan Melintang	1348145	Kg	16.826	Rp22.683.501.257
	Jumlah				Rp42.250.723.781
TOTAL BIAYA					Rp2.634.027.811.365

Biaya perkerasan kaku jenis CRCP dengan metode precast prestress plan pemasangan (3,6 m x 12 m) per meter adalah Rp 29.234.493

4.4.5. RAB Perkerasan Kaku Jenis PPCP (Precast Prestress Concrete Pavement)

Tabel 4.69 RAB Metode PPCP

NO	URAIAN KEGIATAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
I	Pekerjaan Persiapan				
	Pembersihan Lapangan dan Perataan	57230	m2	23.259	Rp1.331.135.501
	Jumlah				Rp1.331.135.501
II	Pekerjaan Tanah				
	Galian Tanah Dasar	9278,94	m3	47.876	Rp444.240.387
	Agregat Lapis Pondasi Atas (LPA) Kelas A	12607,14	m3	99.311	Rp1.252.027.050
	Jumlah				Rp1.696.267.437
III	Pekerjaan Pondasi				
	Lean Mix Concrete	8584,5	m3	1.097.639	Rp9.422.684.371
	Jumlah				Rp9.422.684.371
IV	Pekerjaan Panel				
	Base Panel (3,5 m x 12 m)	371	Unit	25.813.617	Rp9.576.852.013
	Base Panel (3,5 m x 9,5 m)	1168	Unit	20.544.796	Rp23.996.321.822
	Central Panel (3,5 m x 12 m)	10	Unit	24.262.741	Rp242.627.411
	Central Panel (3,5 m x 9,5 m)	15	Unit	19.381.639	Rp290.724.585
	Joint Panel (3,5 m x 12 m)	10	Unit	24.521.221	Rp245.212.205
	Joint Panel (3,5 m x 9,5 m)	15	Unit	24.521.221	Rp367.818.308
	Ereksi 1 buah komponen pelat pracetak Stressing	1589	Unit	1.232.451	Rp1.958.364.567
	Stressing	810	Unit	2.432.540	Rp1.970.357.198
	Grouting lubang kabel stressing 70 m	810	Unit	272.488	Rp220.715.280
	Pekerjaan Pembesian Angkur Tanam	1050	Unit	9.245	Rp9.707.744
	Grouting lubang	46,2	m3	3.259.962	Rp150.610.244
	Jumlah				Rp39.029.311.376
V	Pekerjaan Sambungan				
	Pekerjaan Pembesian Tie Bars Ø16mm – 700 mm	3169	kg	Rp20.549	Rp65.113.000
	Pekerjaan Pembesian Tie Bars Ø33mm – 500 mm	3101,9	kg	20.549	Rp63.741.149
	Jumlah				Rp128.854.148
TOTAL BIAYA					Rp51.608.252.835

Biaya perkerasan kaku metode precast prestress concrete pavement per meter adalah Rp 25.739.777

4.5 Perbandingan Pakerasan Kaku Konvensional Dengan Perkerasan Kaku jenis CRCP dengan Metode Precast Prestress

Setelah dilakukan perhitungan perkerasan kaku konvensional dan perkerasan kaku jenis CRCP dengan metode precast prestress maka didapatkan beberapa perbandingan hasil antara kedua perkerasan jalan tersebut yaitu

Tabel 4.70 Perbandingan Metode Konvensional dan Prestress Precast

No	Uraian	Konvensional	Prestress dan Pracetak
1	Struktur		
	a. Tebal Pelat	305 mm	200 mm
	b. Umur Rencana	40 tahun	40 tahun
	c. Tulangan	Wire Mesh M8-175 mm	Wire Mesh M12-75 mm
	d. Sambungan	Sambungan Tie Bars dan Sambungan Dowel	Sambungan Mekanis
2	Pelaksanaan		
	a. Waktu	Lebih lama	Lebih singkat
	b. Biaya	Lebih murah	Lebih mahal
	c. Teknologi	Konvensional	Perlu keahlian khusus
	d. Tenaga kerja di lapangan	Banyak	Lebih sedikit sebagian di pabrik
	e. Koordinasi	Kompleks	Sederhana
	f. Pengawasan/pengendalian	Kompleks	Sederhana
	g. Sarana kerja	Kompleks	Sederhana
	h. Kondisi lapangan	Harus cukup luas	Site yang sempit bisa
	i. Pengaruh cuaca	Relatif besar	Relatif kecil
3	Hasil Akhir		
	a. Mutu	Kurang terjamin	Lebih terjamin, QC dilakukan di pabrik

1. Pada tebal perkerasan prestress dan pracetak didapatkan hasil yang lebih tipis di bandingkan dengan perkerasan konvensional
2. Pada waktu pelaksanaan perkerasan prestress dan precast ini lebih cepat karena pelaksanaan pembuatan beton dilaksanakan ketika pekerjaan tanah sedang dilakukan, berbeda dengan perkerasan konvensional yang harus menunggu pekerjaan tanah selesai. Dan perkerasan prestress precast ini dapat langsung digunakan 3 hari setelah proses grouting dan stressing

sedangkan perkerasan kaku konvensional harus menunggu 28 hari sampai beton matang

3. Perkerasan precast prestress cenderung lebih mahal karena menggunakan mutu beton K500 dibandingkan dengan perkerasan konvensional yang menggunakan mutu K350
4. Teknologi yang digunakan pada perkerasan prestress dan precast perlu keahlian khusus karena terdapat proses stressing dan penyambungan sambungan mekanis couler
5. Dalam hal pelaksanaan, pelaksanaan perkerasan prestress precast ini tidak tergantung cuaca dan waktu sehingga dapat dilaksanakan kapan saja siang ataupun malam, sedangkan perkerasan konvensional sangat terpengaruh waktu dan cuaca
6. Mutu pada perkerasan prestress dan precast lebih terjamin karena dilaksanakan di pabrik sedangkan perkerasan konvensional tidak karena dilaksanakan cast in situ

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan pada bab sebelumnya, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Tebal lapis pondasi dan perkerasaan
 - a. perkerasaan jalan kaku konvensional dengan menggunakan manual desain perkerasaan jalan 2016
 - Tebal pelat beton 305 mm
 - Lapis pondasi lean mix concrete 150 mm
 - Lapis pondasi agregat kelas A 150 mm
 - Perbaikan tanah dasar CBR 200 mm
 - b. perkerasaan jalan kaku konvensional dengan menggunakan AASHTO
 - Tebal pelat beton 250 mm
 - Lapis pondasi lean mix concrete 100 mm
 - Subgrade
 - c. perkerasaan jalan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress
 - Tebal pelat beton 200 mm
 - Lapis pondasi lean mix concrete 50 mm
 - Lapis pondasi agregat kelas A 150 mm
2. Desain perkerasaan kaku jenis continuous reinforced concrete pavement (crcp) dengan metode precast prestress di dapat
 - Ukuran panel 1,8 m x 12 m dan 3,6 m x 12 m untuk badan jalan dan 1,5 m x 12 m dan 3 m x 12 m untuk bahu jalan
 - Tipe tendon yang digunakan adalah tipe tendon (0,5") dengan tipe Unit 5-2 dan dengan diameter 35/40 mm
 - Tulangan direncanakan menggunakan wiremesh M12-75 dengan 2 lapis dan tulangan menerus D16-150.
 - Sambungan antar tulangan menerus yang digunakan adalah sambungan mekanis coupler kategori *Tension*

Compression Mechanical Connections dengan jenis yang digunakan adalah *Coupler for Thread-Deformed Bars Reinforcing*.

3. Metode pelaksanaan

a. perkerasan jalan kaku konvensional

- Marking posisi dowel.
- Stake out string line sesuai elevasi rencana
- Posisikan paver pada jalur rencana
- LC ditutup plastik
- Letakan wiremesh diatas plastik yang telah di beri tahu beton
- Dowel beserta chair di letakan pada posisi marking dan di pantek. Posisi cat dowel harus seragam dengan panjang cat $> 0.5 L$ pada selongsong.
- Beton dibawa ke lokasi menggunakan DT.
- Test slump beton pada lokasi (Slump 3cm).
- 8. Beton dihampar merata didepan paver.
- Pada saat beton rigid terbentuk, finish permukaan yang terdapat honeycomb.
- Pasang mistar dengan menjepitkan mistar pada tulangan stek pada sisi perkerasan untuk membentuk sudut pada beton rigid.
- Finish permukaan rigid menggunakan ruskam agar kerataan permukaan seragam.
- Lakukan grooving setelah +/- 30menit menggunakan bantuan mistar untuk kelurusan dengan acuan marking dowel tiap 5m.
- Lakukan penyemprotan curing compound.
- Lakukan pemotongan setelah 6~12 Jam setelah pengecoran. Pemotongan harus lurus
- Lakukan penyiraman setelah 12-24 Jam setelah pengecoran lalu tutup plastik dan geotextile di atas plastik.

b. perkerasan kaku jenis continuous reinforced concrete pavement (crp) dengan metode precast prestress

- Setting Mould (Cetakan)
 - Persiapan dan Pembersihan mould
 - Setting mould
 - Mould oiling
- Install Accessories
 - Install pembesian
 - Install duct post-tension
 - Install titik angkat
- Pouring Concrete
 - Pengecoran beton
 - Finishing
 - Pembuatan Benda Uji
- Steam Curing & Strand Release
 - Pemasangan terpal uap
 - Test benda uji
- Handling Panel
 - Pengangkatan ke stockyard
 - Final inspection
 - Loading ke atas truck
 - Delivery panel
 - Unloading panel
- Install Panel
 - Pembersihan permukaan LC
 - Menggelar plastik
 - Memasukan strand
 - Mengoleskan Epoxy
- Stressing
 - Merapatkan panel
 - Stressing
 - Sambungan antar tulangan menerus
- Grouting
 - Grouting pocket tulangan menerus, stressing dan lifting
- Open Traffic

4. Rencana anggaran biaya (RAB)
 - a. perencanaan perkerasan jalan kaku konvensional
 - Manual desain perkerasan jalan 2016
Rp 1.550.548.215.920
 - AASHTO
Rp 1.368.558.183.349
 - b. perkerasan kaku jenis continuous reinforced concrete pavement (crp) dengan metode precast prestress
 - panel 1,8 m x 12 m
Rp 2.996.102.136.014
 - Panel 3,6 m x 12 m
Rp 2.634.027.811.365

5.2. Saran

Dari hasil uraian diatas maka ada beberapa saran yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. Analisa pembebanan diperlukan data beban pada kendaraan yang lebih lengkap dan aktual. Sebaiknya dilakukan survey beban kendaraan agar mendapatkan data lebih aktual
2. Perencanaan pada tugas akhir ini menggunakan peraturan dari luar. Perlu adanya peraturan standar dari indonesia dalam merencanakan perkerasan kaku jenis crcp dengan metode precast prestress
3. Analisa value engineering yang dianalisa pada tugas akhir ini masih menggunakan harga HSPK dari wilayah yang ditinjau, untuk hasil yang lebih valid bisa menggunakan harga yang sama saat kontraktor melakukan penawaran

DAFTAR PUSTAKA

- American Association Of State Highway And Transportastion Officials. (1993). *AASHTO Guid For Design of Pavement Structure 1993*. Washington, D.C: American Association Of State Highway And Transportastion Officials.
- American Concrete Institute Commitee 325. (1998). *Recomendation for designing prestressed concrete pavement. ACI 325.&R-88* . Farmington Hills: ACI.
- Association, P. C., & Packard, R. G. (1984). *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavement*. U.S.A: Portland Cement Association.
- AUSTROADS. (2004). *A Guide to The Design Structural Design of Road Pavement*. Australia: AUSTROADS.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2018, March Monday). *Publikasi*. Retrieved from jateng.bps.go.id: <https://jateng.bps.go.id/statictable/2017/11/06/1684/-seri-2010-pdrb-jawa-tengah-atas-dasar-harga-berlaku-menurut-lapangan-usaha-juta-rupiah-2010---2016.html>
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 7832-2012 Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton Pracetak Untuk Konstruksi Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bina Marga . (2013). *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

- Bina Marga. (2013 (Dimutakhirkan April 2016)). *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013* . Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Chang, L. M., Chen, Y. T., & S. L. (2004). *Using precast Concrete Panels For Pavement Construction In Indiana*. Washington, D.C: FHWA.
- Dachlan, A. T. (2011). Kajian Perancangan Perkerasan Jalan Beton Prategang. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.
- Dachlan, A. T. (2016). Perkerasan Jalan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan (Continous Reinforced Concrete Pavement, CRCP). *Pekan Inovasi dan Sains Teknologi Tahun 2016*. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.
- Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. (2008). *Panduan Batasan Maksimum Perhitungan JBI (Jumlah Berat Diizinkan) dan JBKI (Jumlah Berat Kombinasi yang Diizinkan) untuk Mobil Barang, Kendaraan Khusus, Kendaraan Penarik Berikut Kereta Tempelan/ Kereta Gandeng*. Jakarta: Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2003). *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen Pedoman Konstruksi Bangunan, Pd.T-14- 2003*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1989). *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). *Kelas Jalan, Muatan*

Sumbu Terberat dan Permasalahan Beban Lebih
Kendaraan. 35.

E.J.Yoder, M. (2008). *Principle of pavement design*. New York, London, Sydney, Toronto: Wiley.

Efendi, A. (2017). *Perencanaan Ulang Jalan Surabaya - Gresik KM. 3+175 - KM 7+185 Menggunakan Perkerasan Jalan Beton Dengan Metode PPCP*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Jatmiko, R. (2011). *Studi Perbandingan Rigid Pavement Metode Konvensional Dengan Metode PPCP (Precast Prestress Concrete Pavement)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Pedoman Pelaksanaan Perkerasan Beton Semen Pracetak Prategang. Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*, 1-69.

Lembaga Pengadaan Secara Elektronik Kota Surabaya. (2018, April 1). <https://lpse.surabaya.go.id/>. Retrieved from lpse.surabaya.go.id:
https://lpse.surabaya.go.id/eproc4/publik/detil_special?beritaId=714010

Lins, T. Y., & Burns, N. H. (2000). *Desain Struktur Beton Prategang, Jilid 1. Diterjemahkan oleh Ir. Mediana, MS.* :. Jakarta Indonesia: Binarupa Aksara.

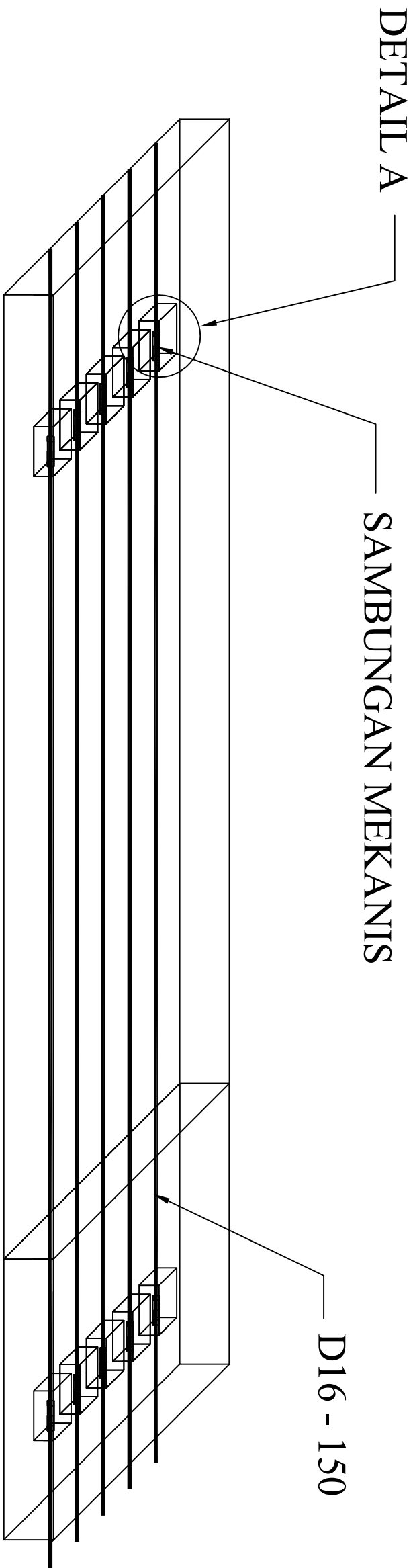
P, H. B. (2017). *Perencanaan Struktur Rumah Sakit Dental Nano Malang Dengan Metode Beton Pracetak (Precast)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Parmo, Tavo. (2015). Inovasi Sambungan Mekanis Menggunakan Clamp Baja Untuk Tulangan Beton. *EMARA Indonesian Journal of Architecture*, 86-87.

PCI Design Handbook 6th Edition I. (2004). U.S.A: Precast/Prestressed Concrete Institute.

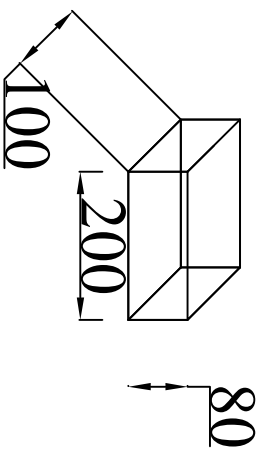
Portland Cement Association. (1995). *Thickness Design For Highway Design and Street Pavement*. illinois: Portland Cement Association.

Sekretariat Negara Republik Indonesia. (2018, Februari Jumat). *Berita*. Retrieved from setkab.go.id: <http://setkab.go.id/jalan-tol-solo-kertosono-akan-dimanfaatkan-untuk-arus-mudik-lebaran-tahun-ini/>



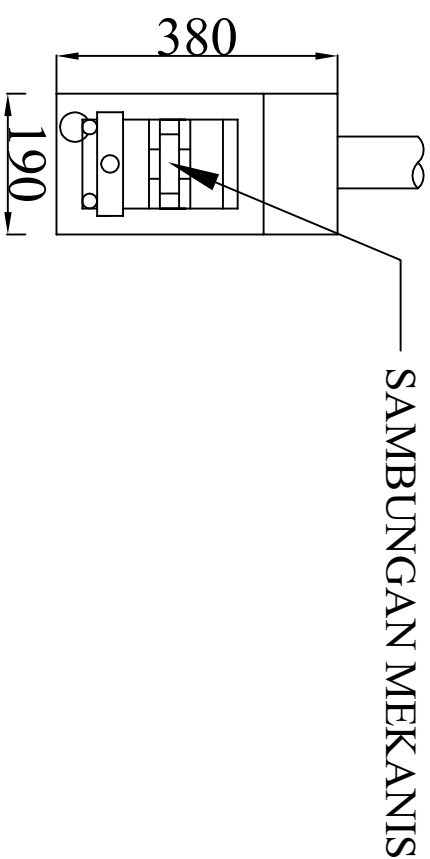
DETAIL PEMASANGAN SAMBUNGAN TULANGAN MENERUS

SKALA 1 : 20`



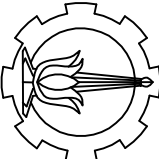
DETAIL A

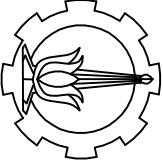
SKALA 1 : 10



KUNCI PAS HIDROLIS

SKALA 1 : 10

 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	
JUDUL TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN ULANG PERKERASAN JALAN KAKU (RIGID PAVEMENT) JENIS CRCP DENGAN METODE PRECAST PRESTRESS DI JALAN SOLO-NGAWI	
REVISI	
KODE GBR	NO GBR
JUDUL GAMBAR	SKALA
DETAIL PEMASANGAN SAMBUNGAN DAN KUNCI PAS HIDROLIS	1 : 20 1 : 10
DIGAMBAR OLEH	
MAHASISWA	
Muhammad Siddiq Rezaqan NRP : 0311164500043	
Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Gatur Prasetyo, ST, M.Eng NIP : 1970077081998021001	
Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING	
Ie. Fatmuna, M.Sc., Ph.D NIP : 196306051989031004	



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR
----------	--------

JUDUL GAMBAR	SKALA
--------------	-------

PANEL UKURAN 3000 MM X 12000 MM	1 : 50
------------------------------------	--------

DIGAMBAR OLEH

MAHASISWA

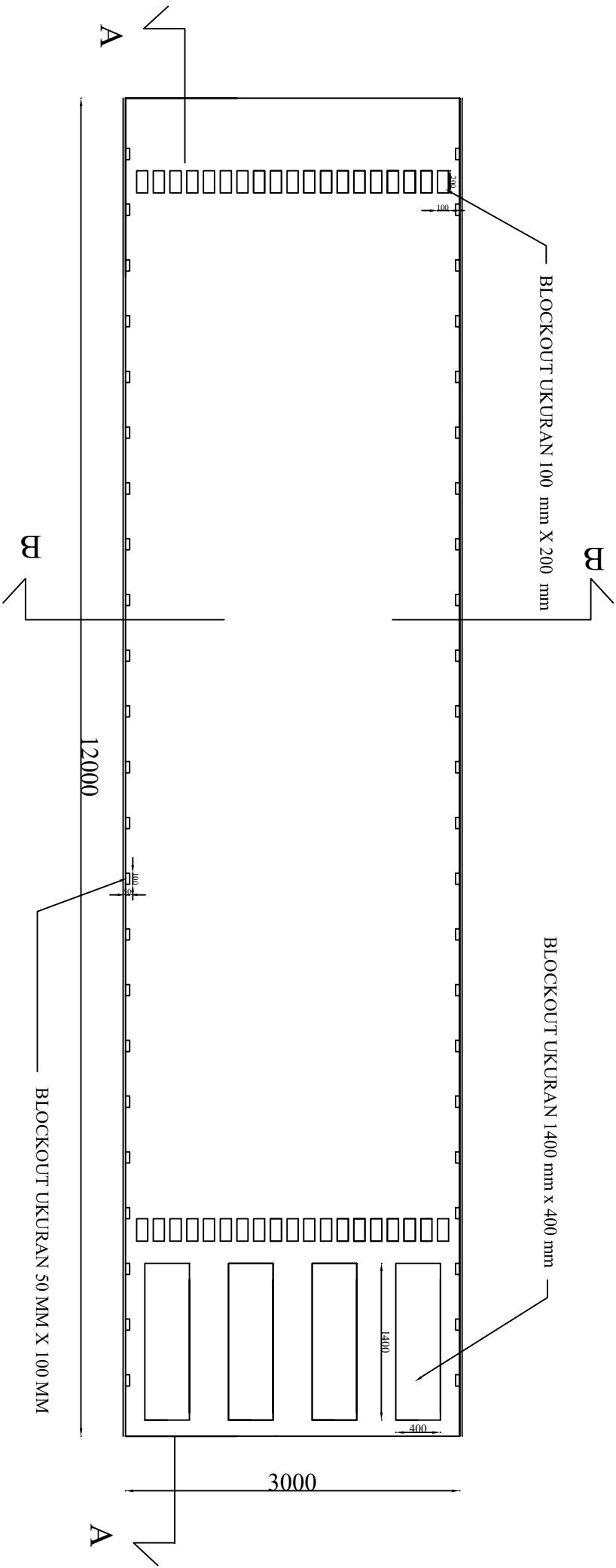
Muhammad Siddiq Rezaqan
NRP : 03111645000043

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

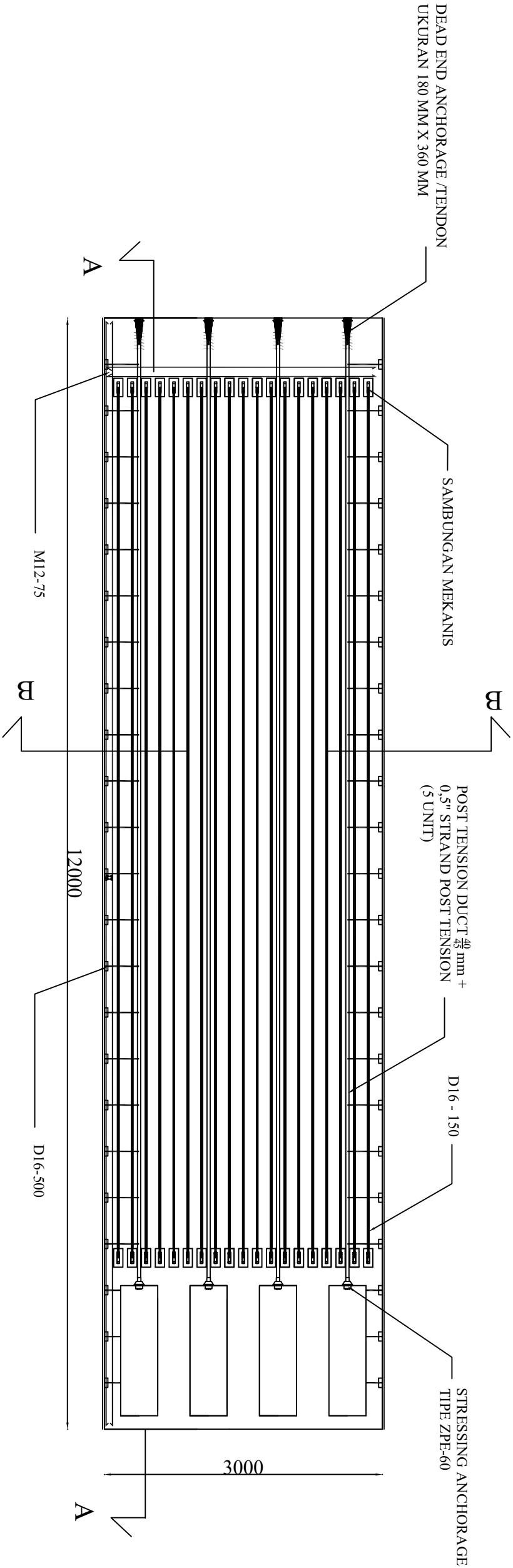
Dr. Gatur Prasetyanto, ST, M.Eng
NRP : 1970077081998021001

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

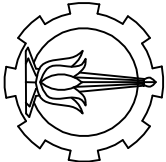
Ie Fatmuna, M.Sc., Ph.D
NRP : 196306051989031004



DIMENSI PANEL C (3000 mm x 12000 mm)
SKALA 1 : 50



PENULANGAN PANEL C (3000 mm x 12000 mm)
SKALA 1 : 50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR

--	--

JUDUL GAMBAR	SKALA

CONSTRUCTION JOINT PADA PERKERASAN KAKU KONVENSIONAL	1 : 15
--	--------

DIGAMBAR OLEH	
---------------	--

MAHASISWA

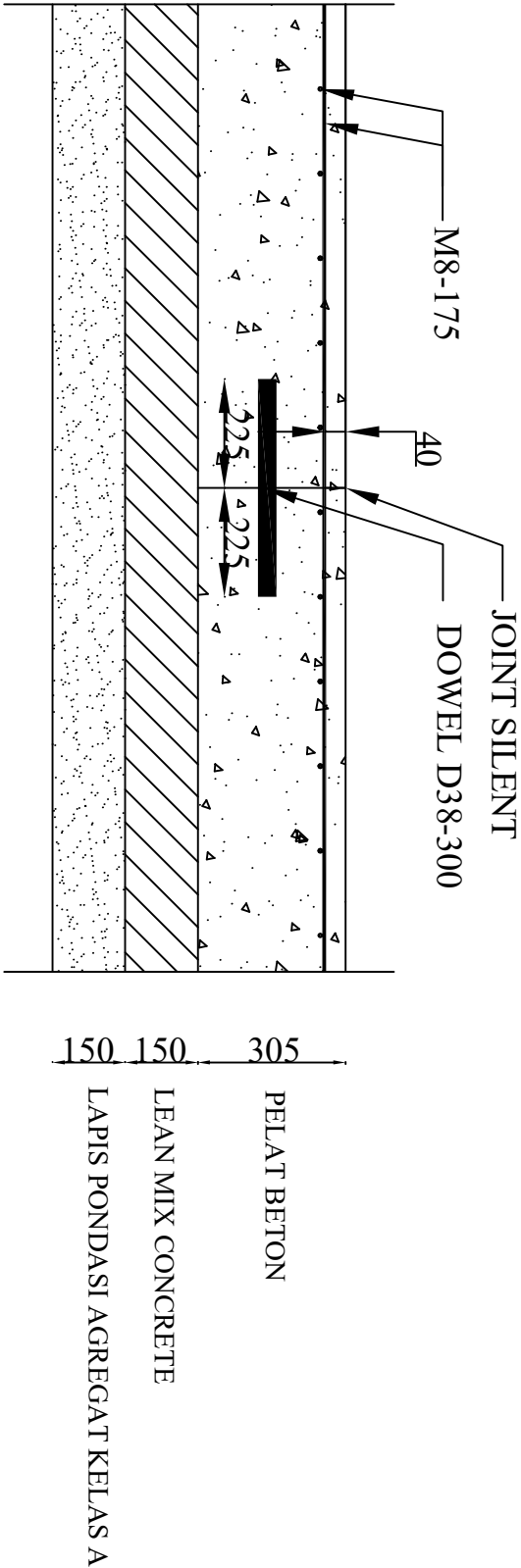
Muhammad Siddiq Rezaqan
NRP : 03111645000043

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Catur Prasetyanto, ST, M.Eng
NRP : 1970077081998021001

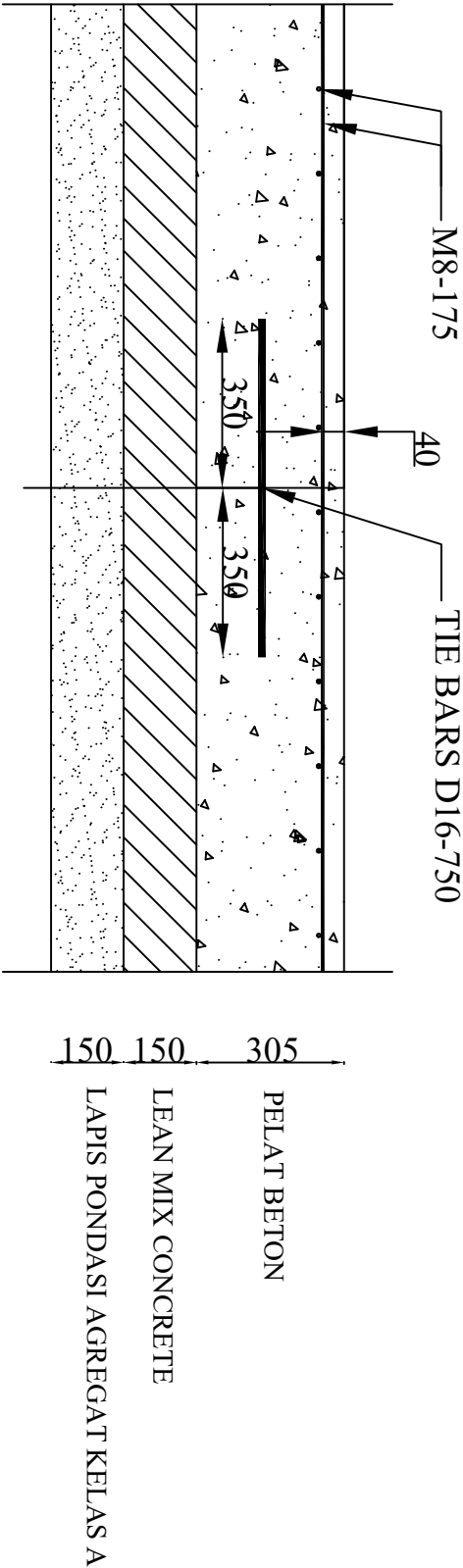
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Ie Fatmuna, M.Sc., Ph.D
NRP : 196306051989031004



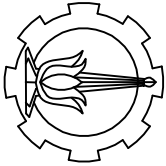
CONTRACTION JOINT (Cj-1)

SKALA 1 : 15



CONTRACTION JOINT (Cj-2)

SKALA 1 : 15



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR
----------	--------

--	--

JUDUL GAMBAR	SKALA
--------------	-------

DETAIL PENULANGAN PERKERASAN KAKU KONVENSIONAL	1 : 50
--	--------

DIGAMBAR OLEH

MAHASISWA

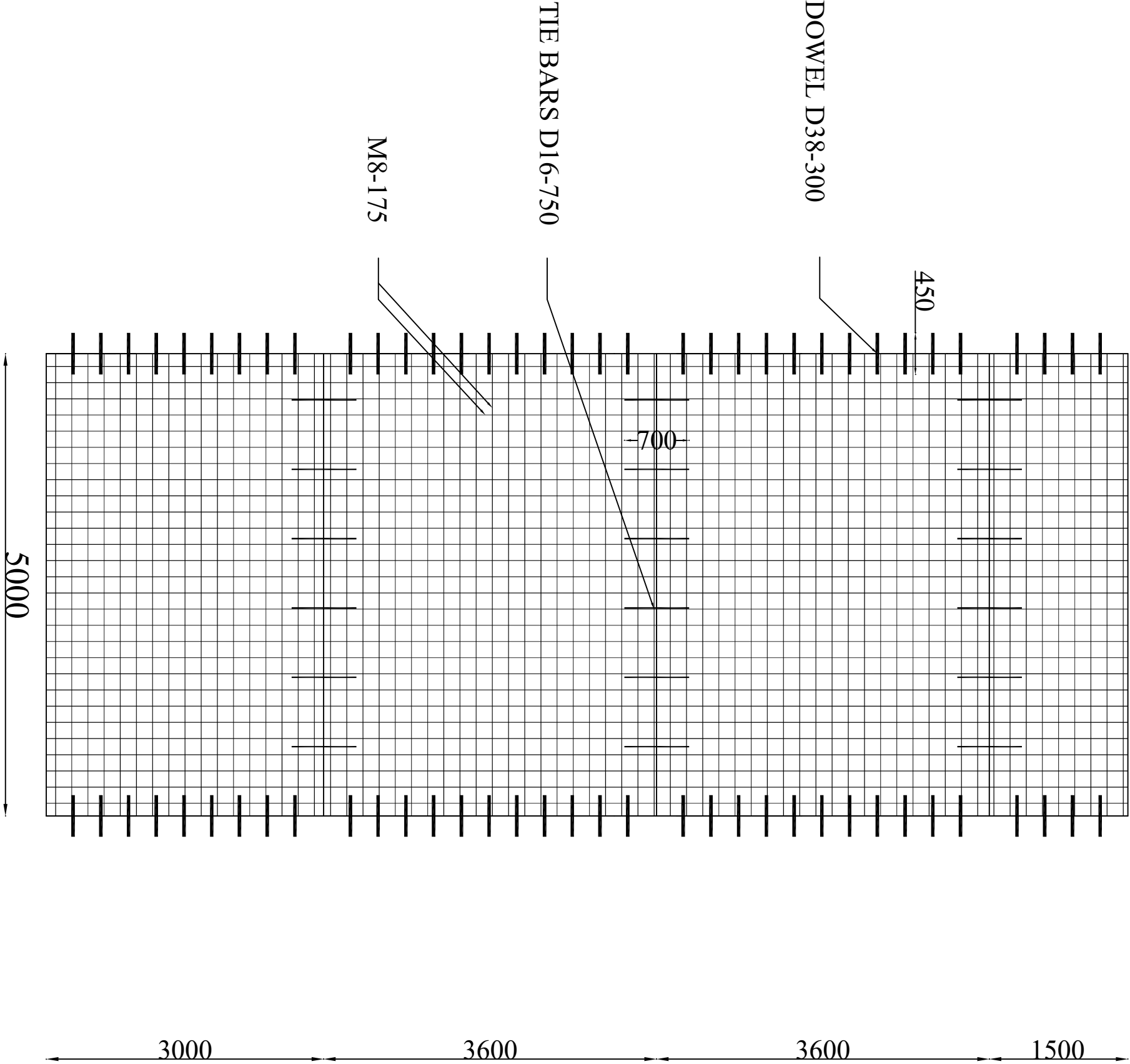
Muhammad Siddiq Rezaqan NRP : 0311164500043
--

Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING

Dr. Catur Prasetyanto, ST, M.Eng
NIP : 1970077081998021001

Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING

Ie Fatmawa, M.Sc, Ph.D
NIP : 196306051989031004



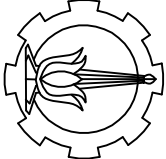
DOWEL D38-300

TIE BARS D16-750

M8-175

DETAIL PENULANGAN

SKALA 1 : 50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR

--	--

JUDUL GAMBAR	SKALA
--------------	-------

PANEL UKURAN 1800 MM X 12000 MM	1 : 50
------------------------------------	--------

DIGAMBAR OLEH

MAHASISWA

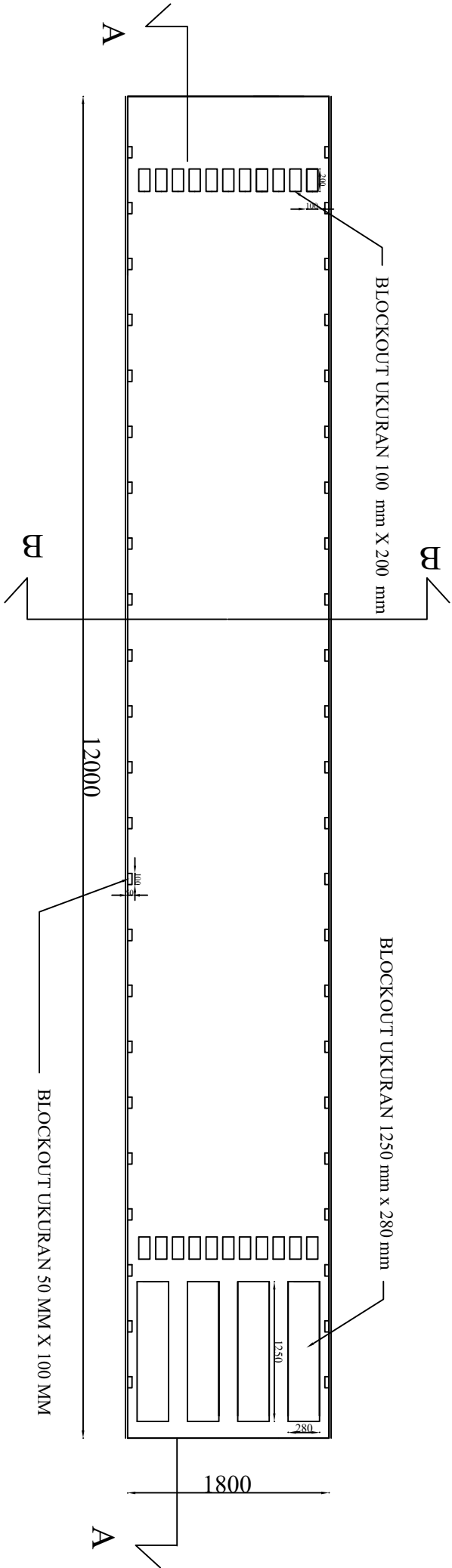
Muhammad Sidiq Rezaan
NRP : 0311164500043

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Catur Prasetyo, ST, M.Eng
NRP : 1970077081998021001

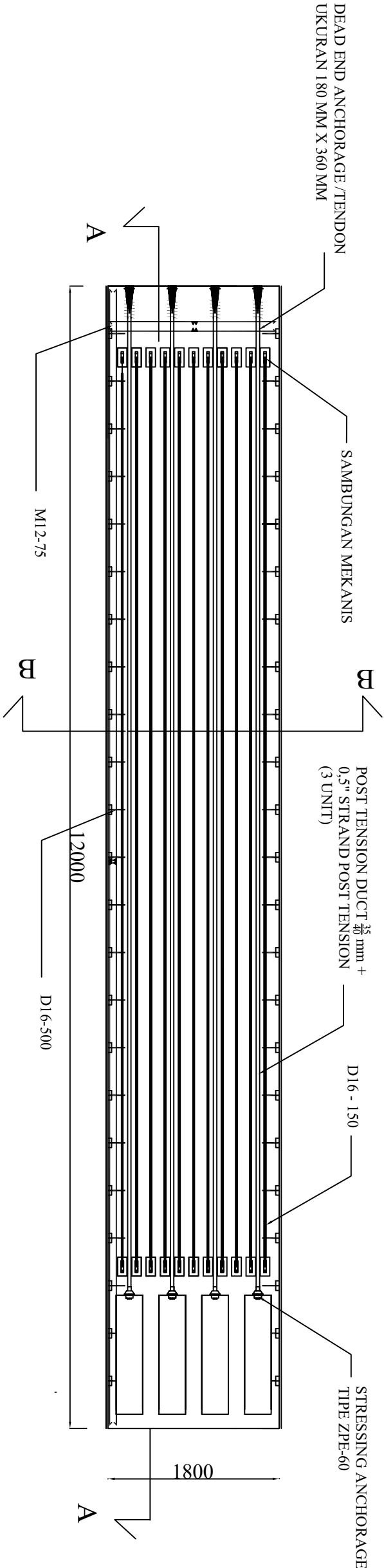
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Ie Fatmuna, M.Sc, Ph.D
NRP : 196306051989031004



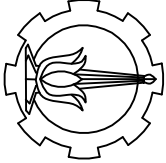
DIMENSI PANEL B (1800 mm x 12000 mm)

SKALA 1 : 50



PENULANGAN PANEL B (1800 mm x 12000 mm)

SKALA 1 : 50



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR

JUDUL GAMBAR	SKALA

PANEL UKURAN 3600 MM X 12000 MM	1 : 50
------------------------------------	--------

DIGAMBAR OLEH

MAHASISWA

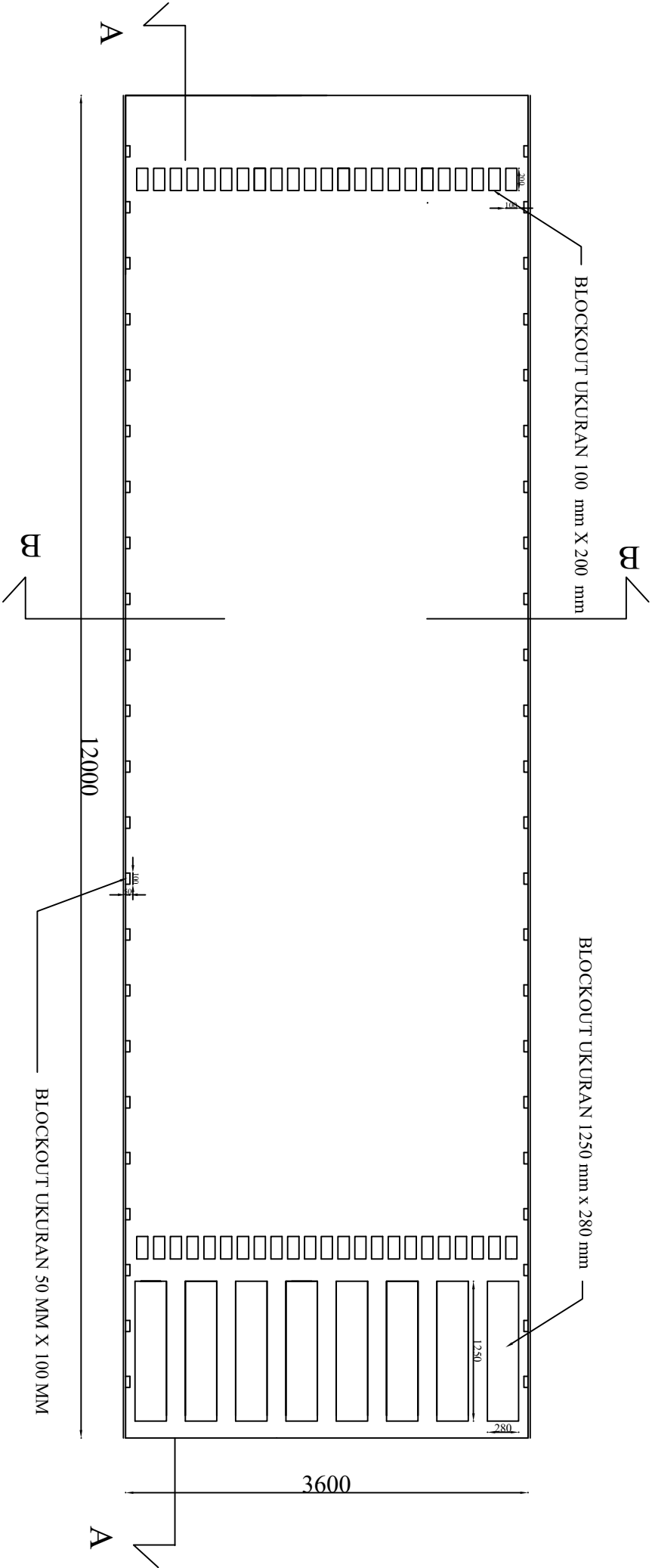
Muhammad Siddiq Reza wan
NRP : 0311164500043

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Gatur Prasetyanto, ST, M.Eng
NRP : 1970077081998021001

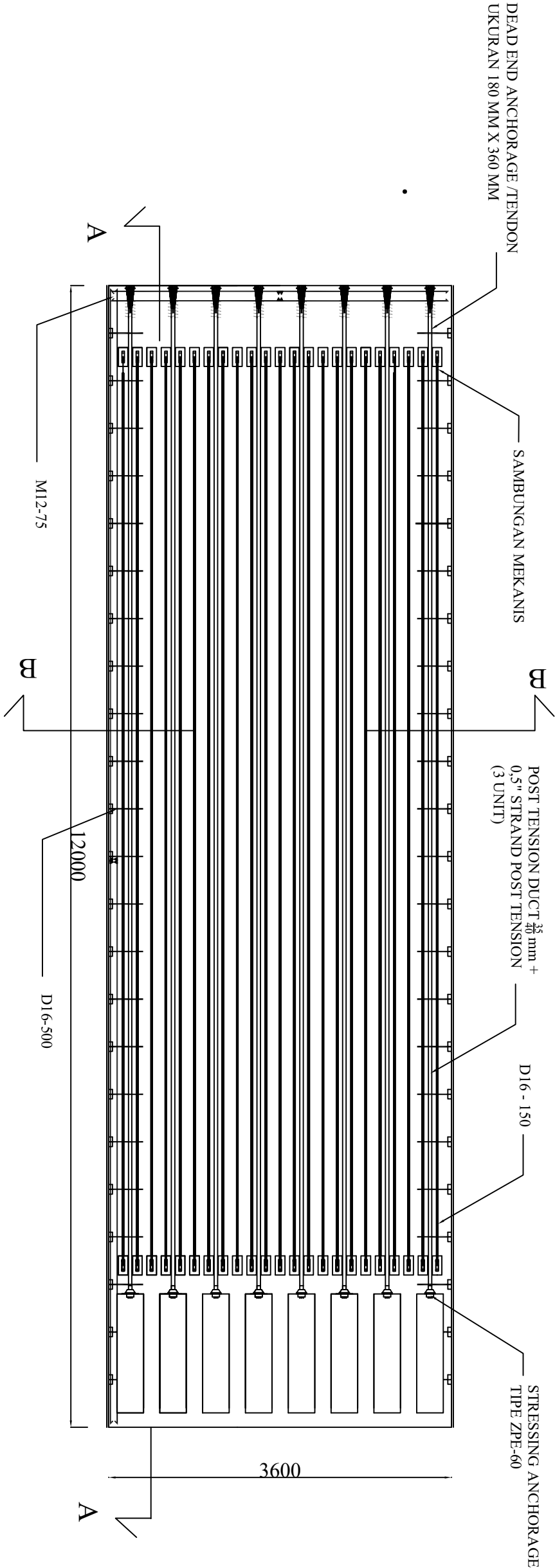
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Ie Fatmuna, M.Sc, Ph.D
NRP : 196306051989031004



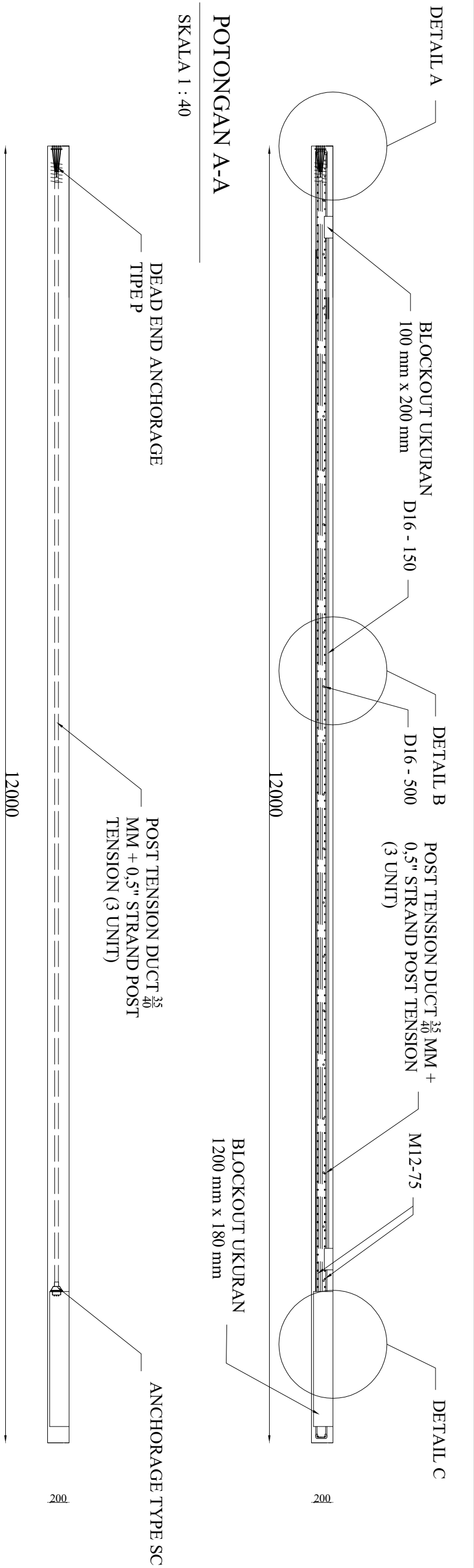
DIMENSI PANEL A (3600 mm x 12000 mm)

SKALA 1 : 50



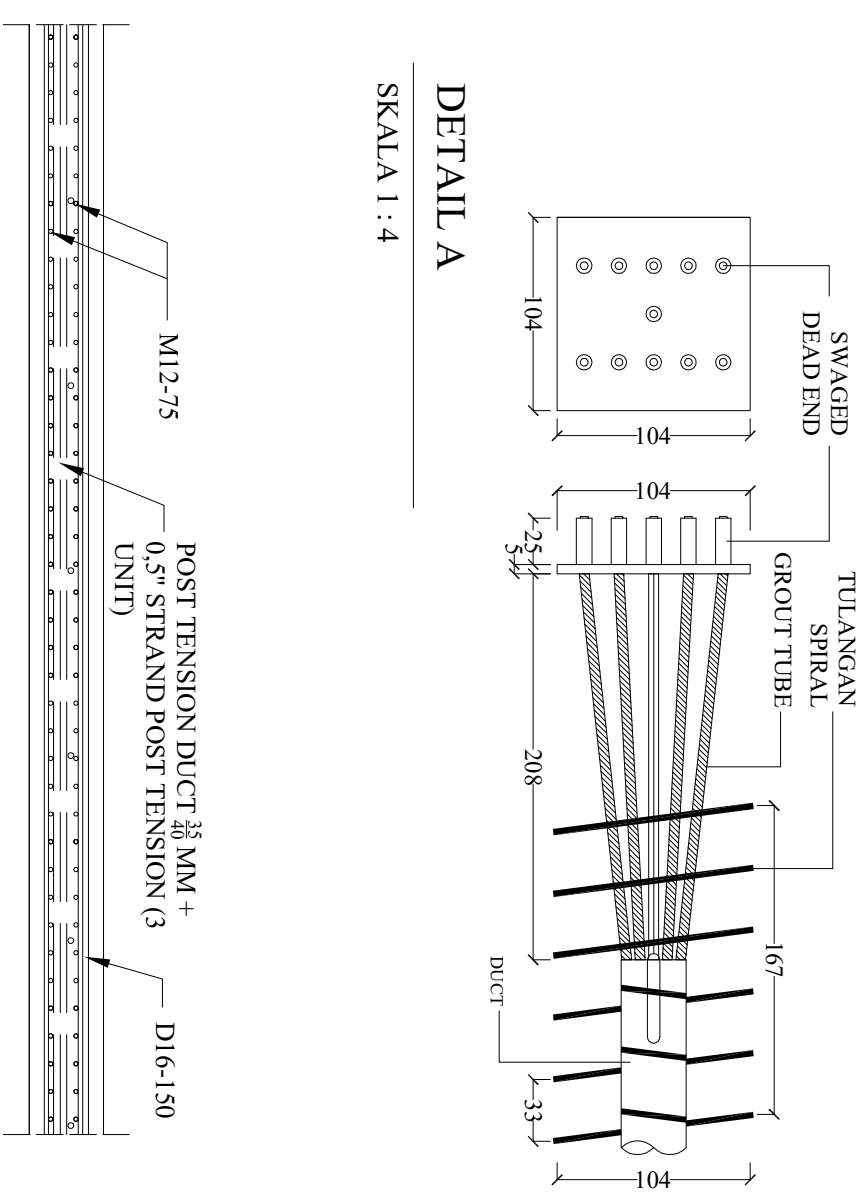
PENULANGAN PANEL A (3600 mm x 12000 mm)

SKALA 1 : 50



LETAK TENDON PANEL

SKALA 1 : 40

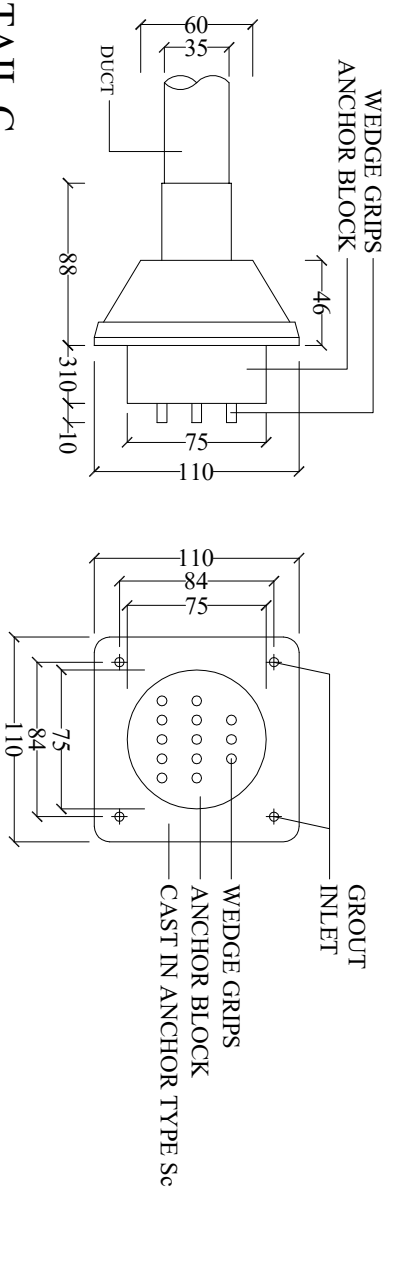


DETAIL A

SKALA 1 : 4

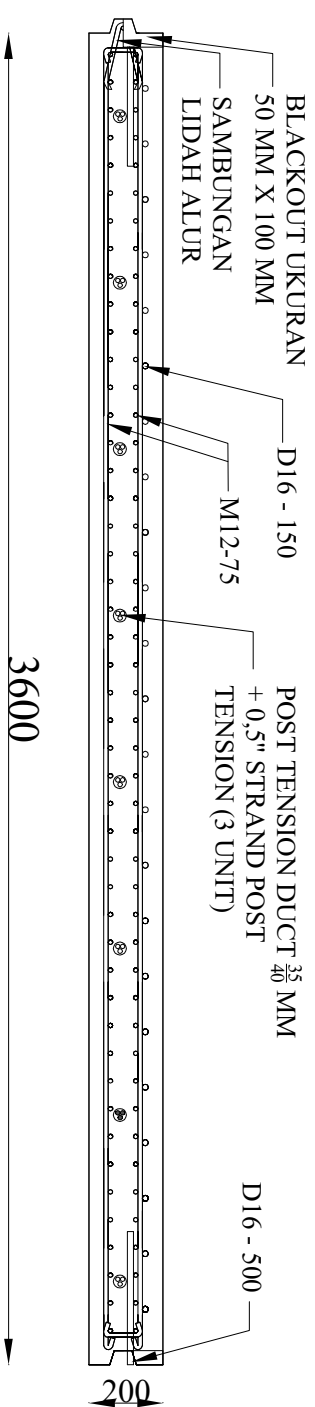
DETAIL C

SKALA 1 : 4



DETAIL C

SKALA 1 : 4



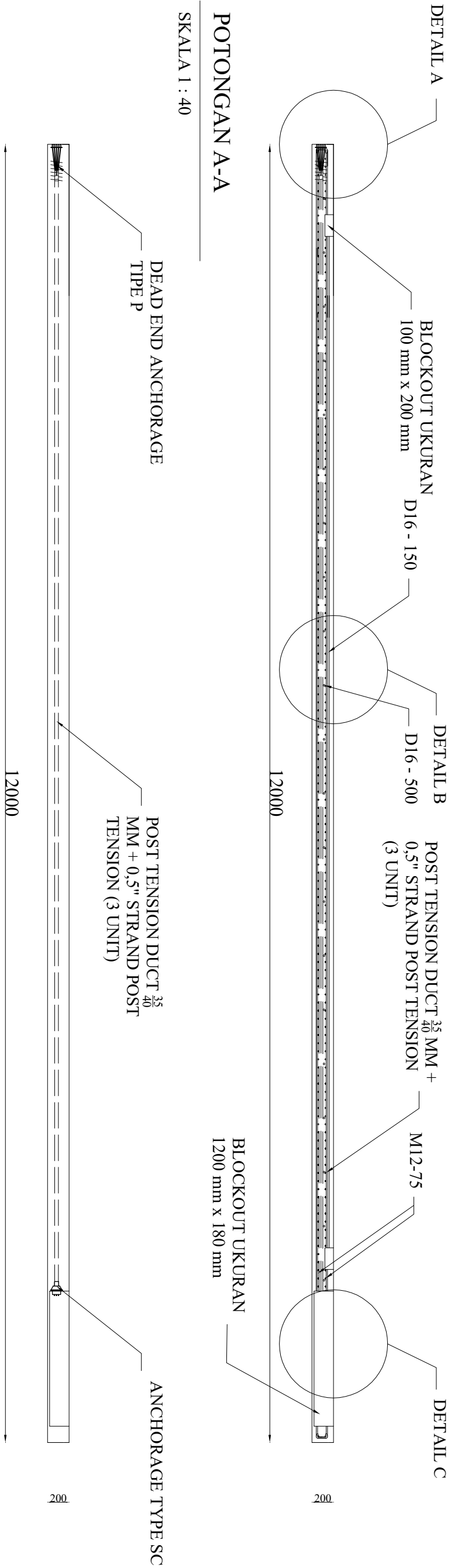
DETAIL B

SKALA 1 : 20

POTONGAN B-B

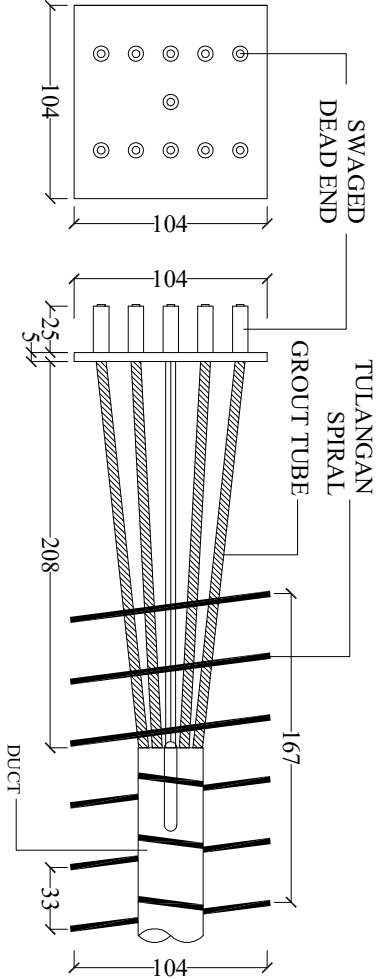
SKALA 1 : 20

<div></div> <div>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</div>	
JUDUL TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN ULANG PERKERASAN JALAN KAKU (RIGID PAVEMENT) JENIS CRCP DENGAN METODE PRECAST PRESTRESS DI JALAN SOLO-NGAWI	
REVISI	
KODE GBR	NO GBR
JUDUL GAMBAR	SKALA
POTONGAN A-A DAN POTONGAN B-B	1 : 40 1 : 4 1 : 20
DIGAMBAR OLEH	
MAHASISWA	
Muhammad Sidiq Rezwan NRP : 0311164500043	
Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Catur Prasetyono, ST, M.Eng NIP : 1970077081998021001	
Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING	
Ie. Fatmuna, M.Sc., Ph.D NIP : 196306051989031004	



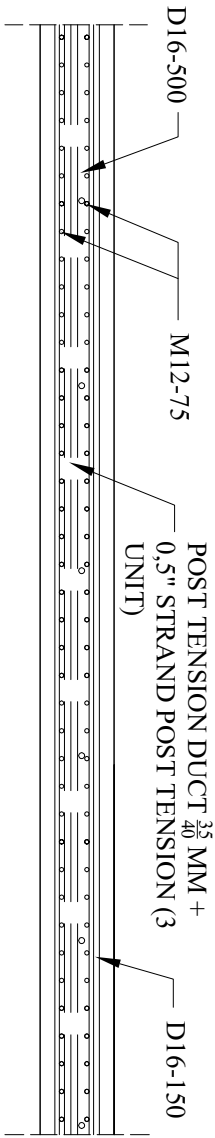
LETAK TENDON PANEL

SKALA 1 : 40



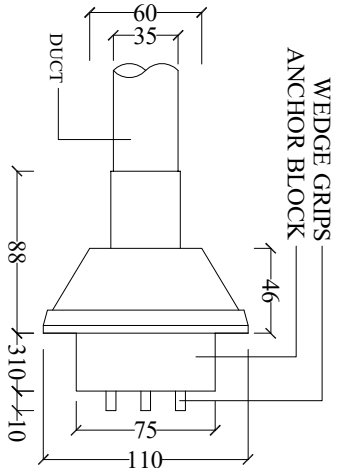
DETAIL A

SKALA 1 : 4



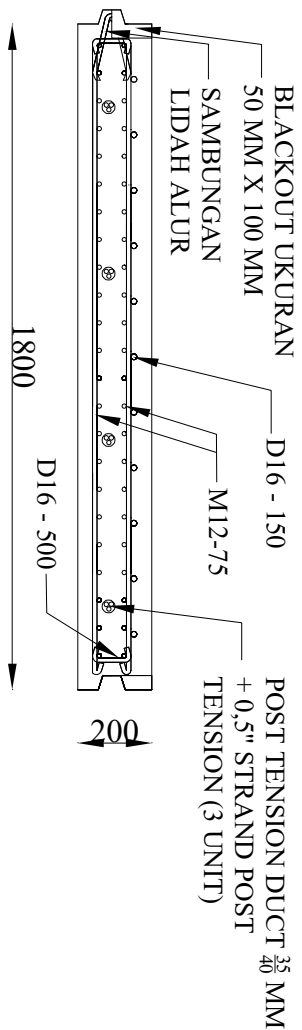
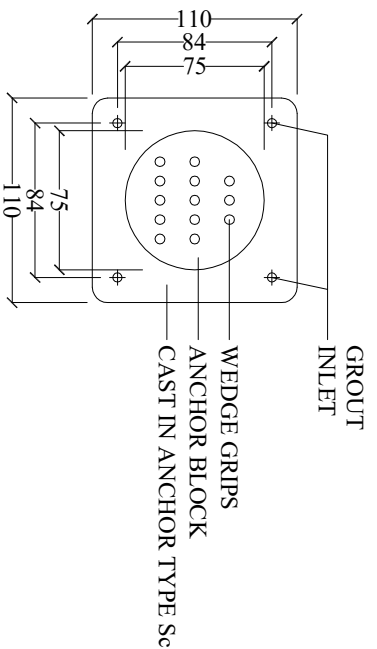
DETAIL B

SKALA 1 : 20



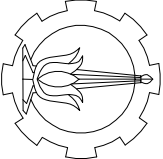
DETAIL C

SKALA 1 : 4



POTONGAN B-B

SKALA 1 : 20



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR
----------	--------

JUDUL GAMBAR	SKALA
--------------	-------

POTONGAN PANEL UKURAN 1800 MM X 12000 MM	1 : 40 1 : 4 1 : 20
--	---------------------------

DIGAMBAR OLEH

MAHASISWA

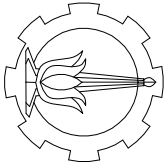
Muhammad Sidiq Rezwan
NRP : 0311164500043

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Catur Prasetyo, ST, M.Eng
NIP : 1970077081998021001

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Ie Fatmuna, M.Sc, Ph.D
NIP : 196306051989031004



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR

JUDUL GAMBAR	SKALA
--------------	-------

PEMASANGAN SAMBUNGAN TULANGAN MELINTANG DAN CONSTRUCTION JOINT PANEL	1 : 40 1 : 10
---	----------------------

DIGAMBAR OLEH

MAHASISWA

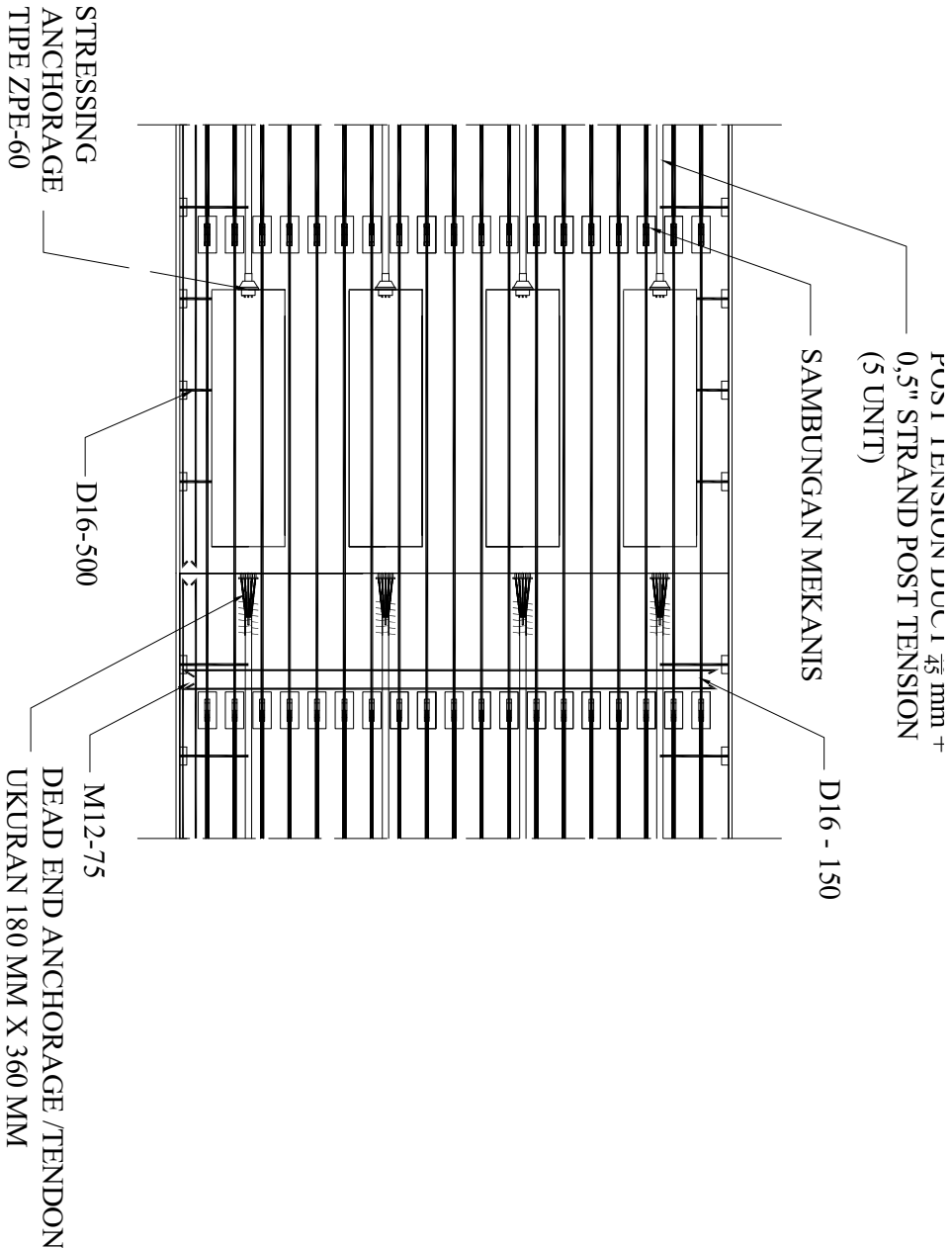
Muhammad Sidiq Rezaan NRP : 0311164500043
--

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Catur Prasetyo, ST, M.Eng NIP : 1970077081998021001
--

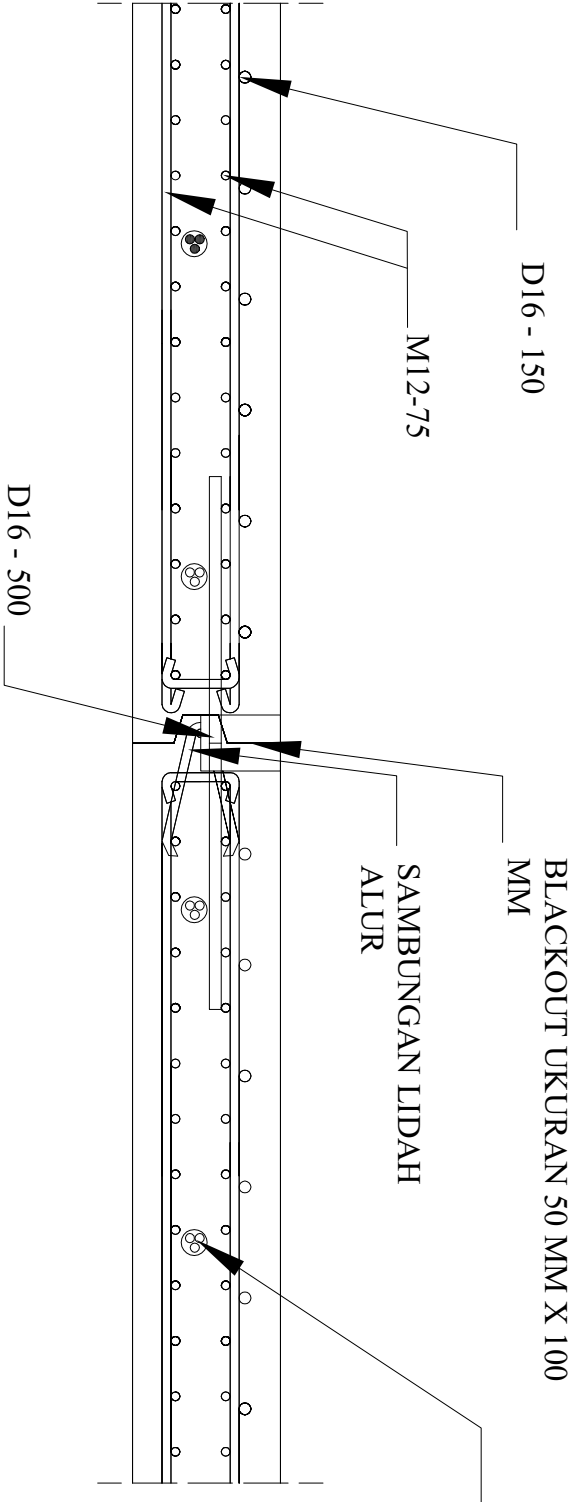
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Ie Fatmuna, M.Sc., Ph.D NIP : 196306051989031004



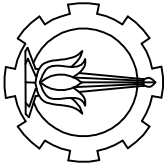
PEMASANGAN SAMBUNGAN TULANGAN MENERUS

SKALA 1 : 40



CONSTRUCTION JOINT PANEL

SKALA 1 : 10



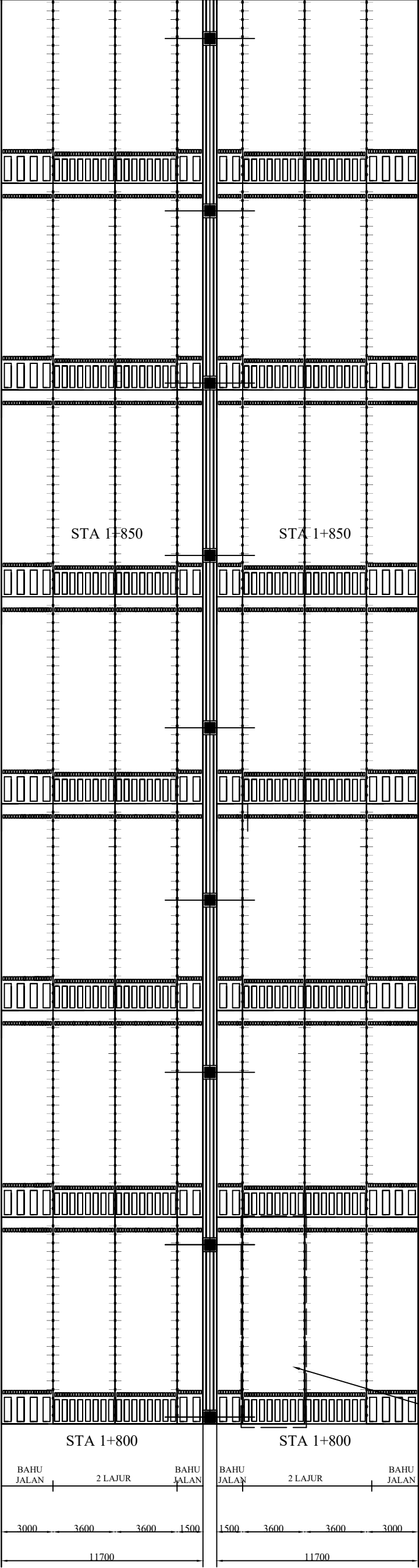
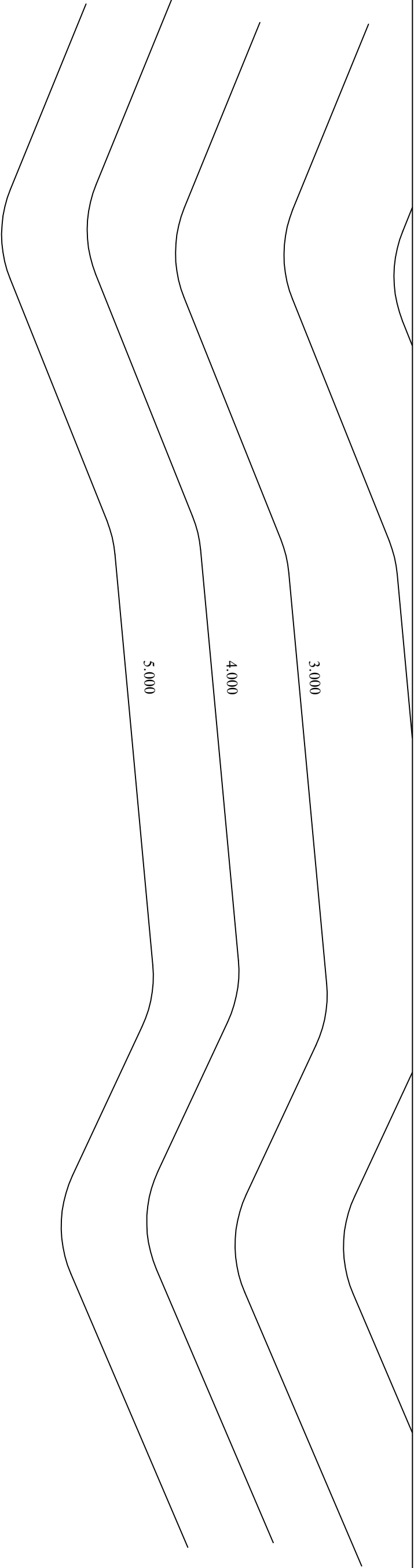
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

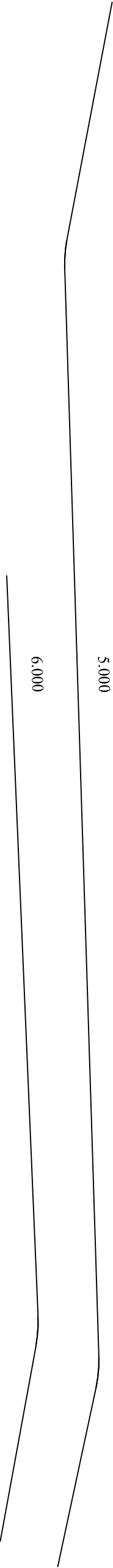
PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

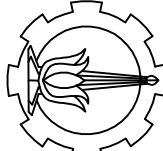
REVISI

DETAIL PANEL ,



PLAN PEMASANGAN PANEL (3600 MM X 12000 MM)
SKALA 1 : 250



	
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA	
JUDUL TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN ULANG PERKERASAN JALAN KAKU (RIGID PAVEMENT) JENIS CROP DENGAN METODE PRECAST PRESTRESS DI JALAN SOLO-NGAWI	
REVISI	
KODE GBR	NO GBR
JUDUL GAMBAR	SKALA
PLAN PEMASANGAN PANEL UKURAN 3600 MM X 12000 MM	1:250
DIGAMBAR OLEH	
MAHASISWA	
Muhammad Siddiq Rezwan NRP : 0311164500043	
Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Catur Prasetyo, ST, M.Eng NRP : 1970077081998021001	



PERENCANAAN ULANG
PEKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

KODE GBR	NO GBR

JUDUL GAMBAR
SKALA

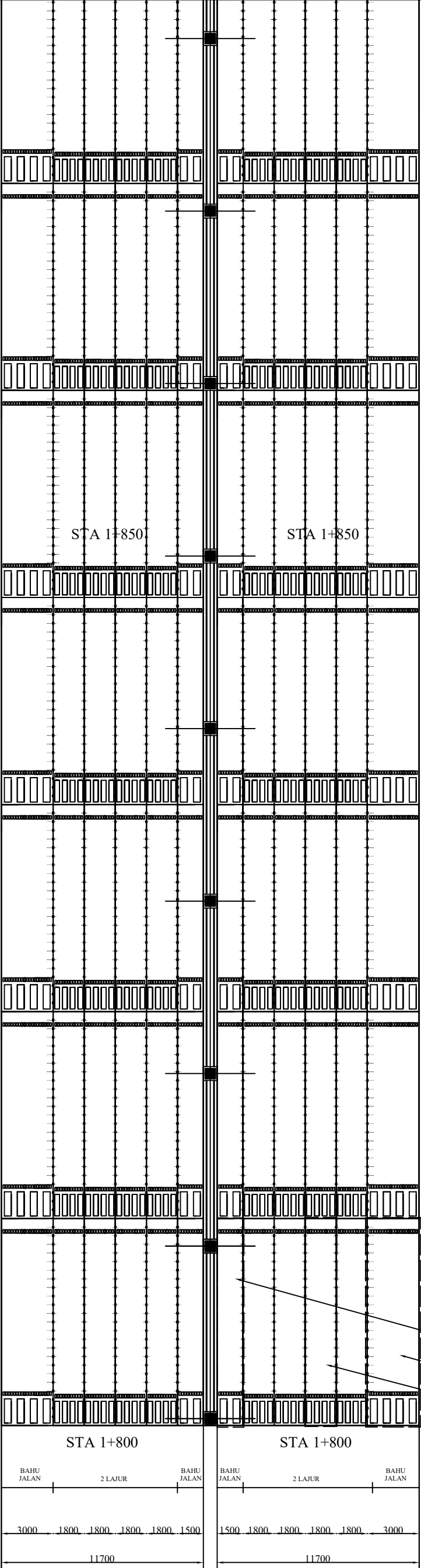
PLAN PEMASANGAN
PANEL UKURAN 1800
MM X 12000 MM

DIGAMBAR OLEH

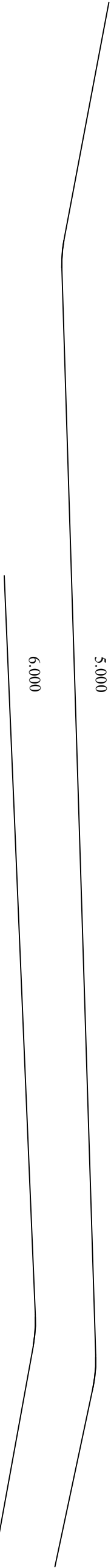
Muhammad Siddiq Rezwan
NRP : 03111645000043

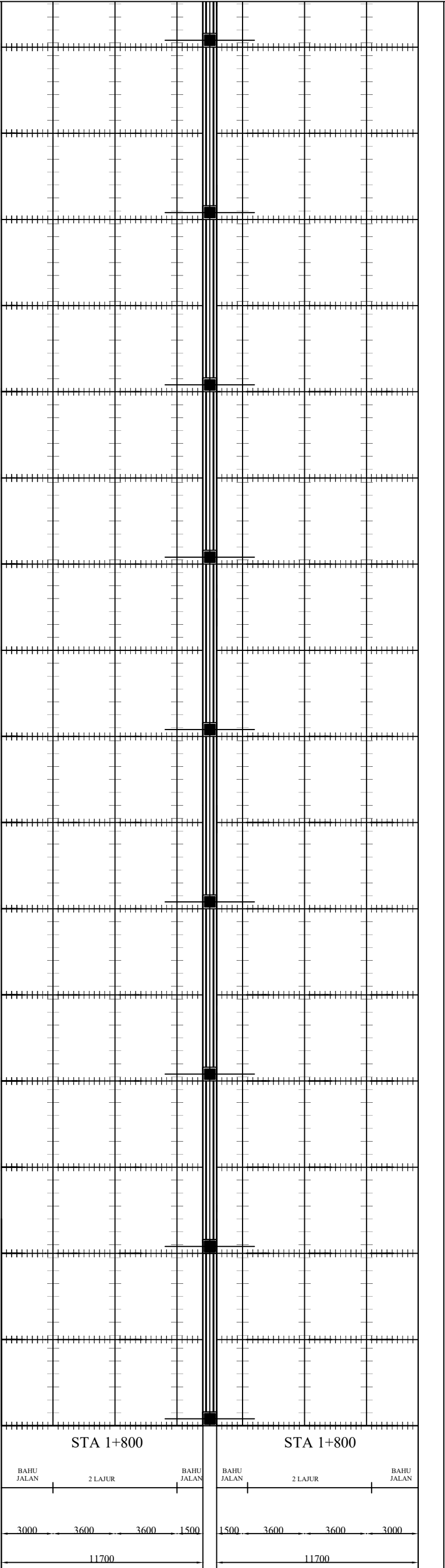
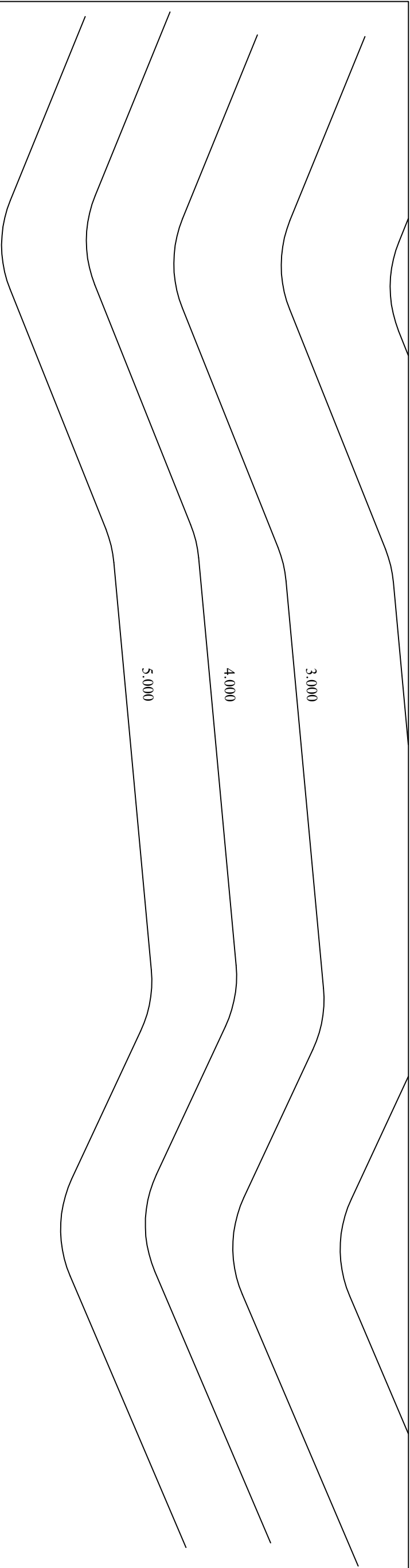
Dr. Catur Praslyanto, ST, M.Eng.
NIP : 1970077081998021001

Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING



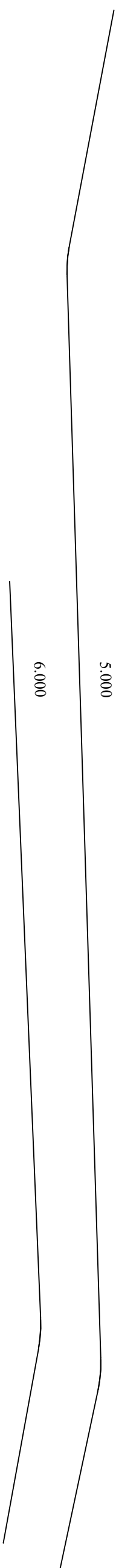
SKALA 1 : 250



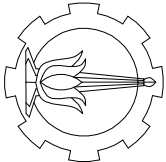


PLAN PERKERASAN KAKU KONVENSIONAL

SKALA 1 : 250



<div></div> <div>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA</div>	
JUDUL TUGAS AKHIR	
PERENCANAAN ULANG PERKERASAN JALAN KAKU (RIGID PAVEMENT) JENIS CRCP DENGAN METODE PRECAST PRESTRESS DI JALAN SOLO-NGAWI	
REVISI	
KODE GBR	NO GBR
JUDUL GAMBAR	SKALA
PLAN PERKERASAN KAKU KONVENSIONAL	
1 : 250	
DIGAMBAR OLEH	
MAHASISWA	
Muhammad Siddiq Rezwan NRP : 0311164500043	
Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING	
Dr. Catur Prasvanto, ST, M.Eng NIP : 1970077081998021001	
Mengetahui/Menyetujui DOSEN PEMBIMBING	
Irf. Faiman, M.Sc, Ph.D NIP : 196306051989031004	



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR

JUDUL GAMBAR	SKALA

POTONGAN MELINTANG PLAN PANEL 3600 MM X 12000 MM	1 : 100
--	---------

DIGAMBAR OLEH
MAHASISWA

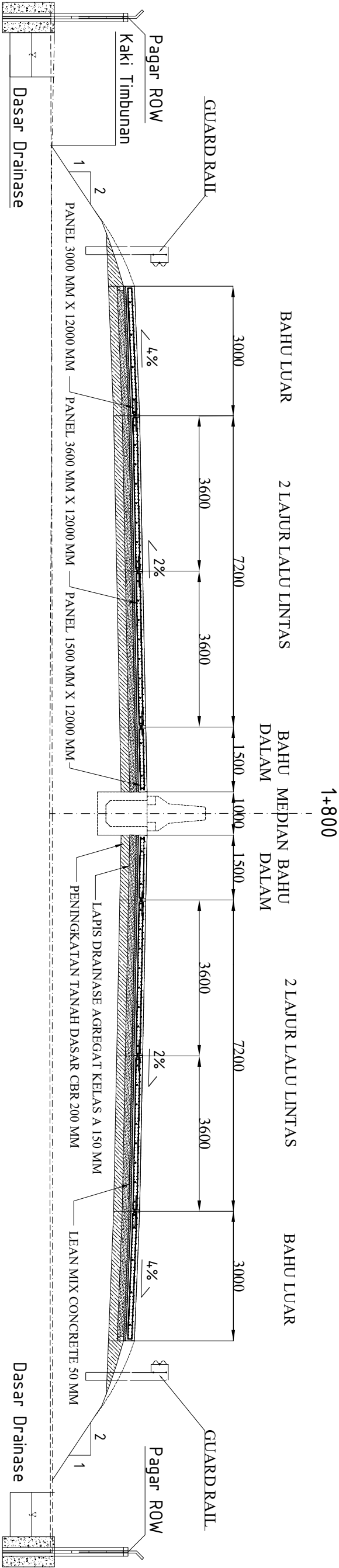
Muhammad Sidiq Rezaan
NRP : 0311164500043

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Catur Prasetyo, ST, M.Eng
NIP : 1970077081998021001

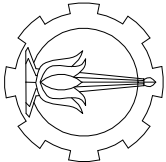
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Ie Fatmuna, M.Sc, Ph.D
NIP : 196306051989031004



POTONGAN MELINTANG PLAN PANEL 3600 MM X 12000 MM

SKALA 1 : 100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR

JUDUL GAMBAR	SKALA

POTONGAN MELINTANG PLAN PANEL 1800 MM X 12000 MM	1 : 100
--	---------

DIGAMBAR OLEH

MAHASISWA

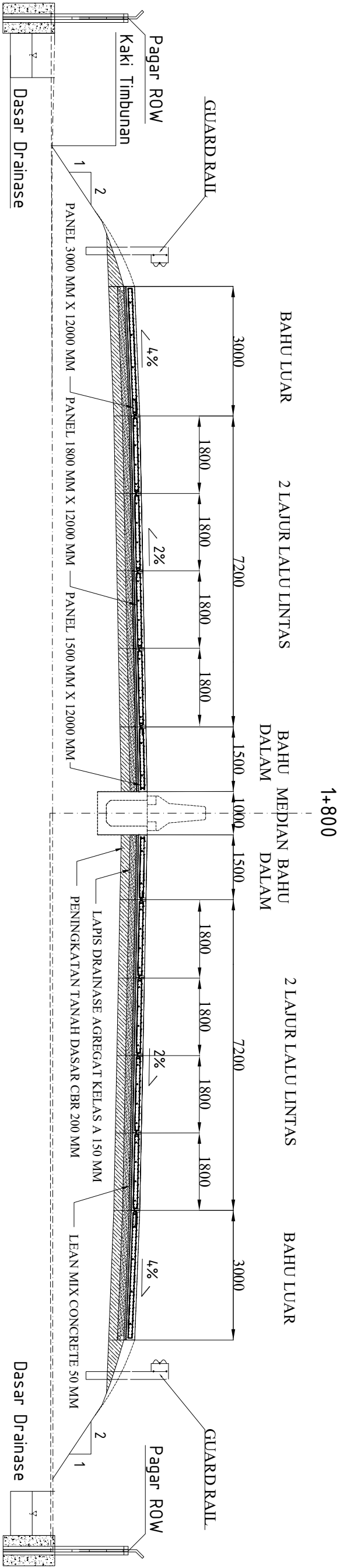
Muhammad Siddiq Rezaean
NRP : 0311164500043

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Catur Prasetyo, ST, M.Eng
NIP : 1970077081998021001

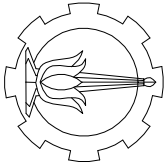
Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Ie. Fatmuna, M.Sc., Ph.D
NIP : 196306051989031004



POTONGAN MELINTANG PLAN PANEL 1800 MM X 12000 MM

SKALA 1 : 100



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG
PERKERASAN JALAN
KAKU (RIGID PAVEMENT)
JENIS CRCP DENGAN
METODE PRECAST
PRESTRESS DI JALAN
SOLO-NGAWI

REVISI

KODE GBR	NO GBR

JUDUL GAMBAR	SKALA

POTONGAN MELINTANG PERKERASAN KAKU KONVENSIONAL	1 : 100
---	---------

DIGAMBAR OLEH

MAHASISWA

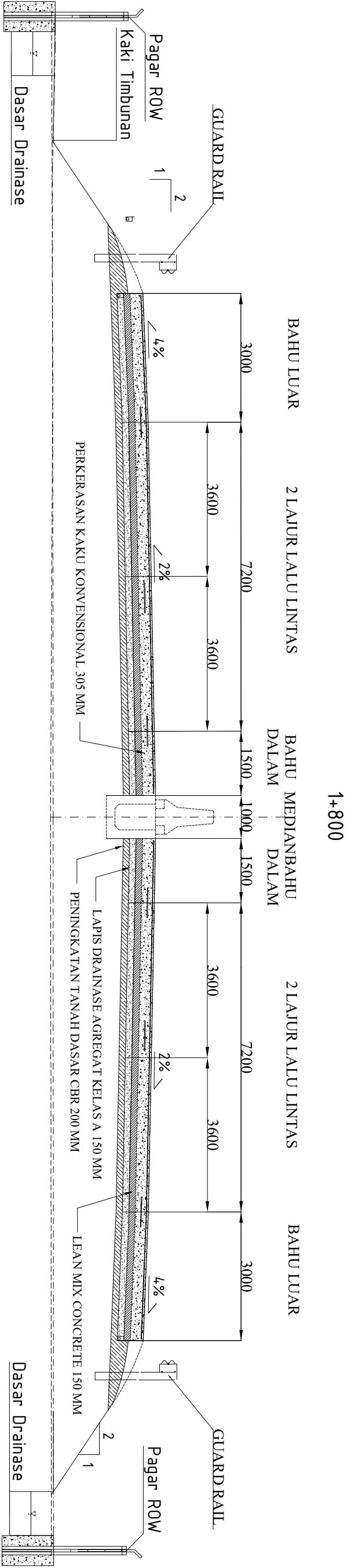
Muhammad Siddiq Reza wan
NRP : 0311164500043

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Catur Prasetyanto, ST, M.Eng
NIP : 1970077081998021001

Mengetahui/Menyetujui
DOSEN PEMBIMBING

Ie Fatmuna, M.Sc, Ph.D
NIP : 196306051989031004



POTONGAN MELINTANG PERKERASAN KAKU KONVENSIONAL

SKALA 1 : 100

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK - ITS

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
SEMINAR DAN LISAN
TUGAS AKHIR**

Pada hari ini Selasa tanggal 17 Juli 2018 jam 09.00 WIB telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

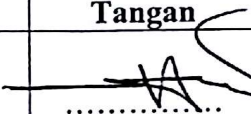

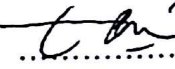
NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111645000043	Muhammad Siddiq Rezawan	Perencanaan Ulang Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pavement) Jenis CRCP Dengan Metode Precast Prestress di Jalan TOL Solo-Ngawi

Dengan Hasil :

<input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
<input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

- o> Ditambahkan kebalahan & penyawbungan. tulangan. (klem). ✓ *blue*
- o> Jml perulangan - tumpuan - kesimpulan → dirumuskan.
- o> Ditambahkan desain balok & sealent.
- o> tdk ada AASHTO & + perbandingan dgn mutu beton yang sama K.500.
- o> Tulisan department + jml. kata di Abstrak di cek.
- o> kata pengantar ganti TA → bukan proposal.
- o> 6 hr 1.1. Penjelasan gambar.
- o> Tabel → penulisan yg format landscape. serab.
- o> penulisan surver & M.
- o> penulisan gambar & tabel.
- o> perhitungan febel. tumbukan → hal. 76. → Mgelik dgn perhitungan *asa*
- o> Data geometrik jalan didapat dr mana? → dijelaskan.
- o> Ditambahkan kegunaan manalah waktu.

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Ir. Hera Widyastuti, MT. PhD	
Ir. Wahyu Herijanto, MT	
Ir. Ervina Ahyudanari, ME, PhD	

Surabaya, 17 Juli 2018
Dosen Pembimbing I
(Ketua)

Dr. Catur Arif Prastvanto, ST. M.Eng

Dosen Pembimbing 2
(Sekretaris)

Ir. Faimun, MSc. PhD

Dosen Pembimbing 3
(Sekretaris)



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)


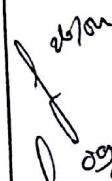
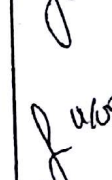
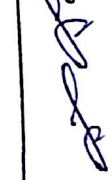
Jurusan Teknik Sipil It. 2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp. 031-5946094, Fax. 031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Ir. Faimun, Msc. PhD
NAMA MAHASISWA	: Muhammad Siddiq Rezwan
NRP	: 03111645000043
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Utlang Perkerasan Jalan kaku (rigid pavement) jenis CRCP Dengan metode Precast Prestress di Jalan Tol Solo - Ngawi
TANGGAL PROPOSAL	: 26 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 026810 / IT 2. VI. 4.1 / PP. 05. 02.00 / 2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	6/4/18	- Pembagian k spring berdasar kem teraknya pinggir tengah - tidak meninjau suhu pada kontrol tebal		   
2.	26/4	- Perbaiki SAV dengan ditinjau per titik beban nya		
3	9/5 2018	- Pembukaan baji dengan per titik.		
4	11/5 2018	- Angkur paku		
5.	18/5	- beban angkat dipertinggi		
6	4/6 18	- Metode his spon dg kerucut		



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Dr. Catur Arif Prastyanto, ST, M. Eng
NAMA MAHASISWA	: Muhammad Siddiq R
NRP	: 03111645000043
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Licing Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pavement) Jenis CRCP Dengan metode Precast Prestress di Jalan TOL SOLO - NGAWI
TANGGAL PROPOSAL	: 26 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 026810 / IT2.VI.4.1 / PP.OS.D2.00 / 2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	7/3 2018	- Revisi LHR, dibagi berdasarkan Sumbu - Minimum CBR untuk Pondasi	Melakukan survey LL. / memori % LL → SDL.	A
2.	15/3 2018	- Perbaiki perhitungan LEA E dan C salah - mengikuti MDP 2013 revisi April 2016	Mengajukan hasil perhitungan & menghitung tebal KSP Rigid. per. - Perbaiki hitungan tebal per. - Perhitungan 3 metode.	A
3.	29/3 2018	- tambahkan grafik CBR per Sta - Gunakan VOF rangkai 5 - Perbaiki hitungan tulangan	- Metode 4 / using cara - +/- using metode.	Cat
4	17/4 2018	- Perbaiki contoh perhitungan buat dengan detail - Keterangan penggunaan CBR Negeri - Penulisan tabel dan gambar RAB per total - tcl perulangan pekerja wiremesh.	- Perbaiki contoh perhitungan - penulisan. - RAB. - Metode.	A
5.	9/5 2018	- Perbaiki hitungan penulangan - Cek apakah perlu analisis Statik - Dubel gunakan D38	→ gunakan MDP 2017. + per metode. / per gambar	A

filebars dikonversi

BIODATA PENULIS



Muhammad Siddiq Rezawan

Penulis dilahirkan di Bekasi, 28 Desember 1993 dan merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al Huda Bekasi, SD Pembina Anak Bangsa Indonesia. SMP Bani Saleh 2, dan SMA Negeri 8 Bekasi. Setelah lulus dari SMA Negeri 8 Bekasi tahun 2012, Penulis Diterima di program studi Diploma III Teknik Sipil UNDIP pada tahun 2012 Setelah itu Penulis sempat aktif di Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil dan BEM

Fakultas Teknik di Departemen Ekonomi dan Bisnis. Untuk pelatihan, penulis juga sempat mengikuti LKMM Pra-TD, LKMM TD. Selain itu, Penulis sempat aktif juga dalam berbagai seminar dan kegiatan kepanitiaan di UNDIP. Kemudian setelah lulus dari Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS, penulis mengikuti ujian masuk Program S1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS dan diterima pada program tersebut pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 03111645000043. Selama masa studi disini penulis juga sempat aktif dalam berbagai seminar yang diselenggarakan oleh Kampus ITS.